



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - 184834

ANALISIS PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DAN WAKTU TAHAN *TEMPERING* TERHADAP KEKERASAN BAJA ASSAB 705 YANG DI- *HARDENING* UNTUK APLIKASI POROS POMPA *MULTISTAGE*

MUHAMAD JUNDA AZIZI
0251154000045

Dosen Pembimbing
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - 184834

**ANALISIS PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DAN
WAKTU TAHAN *TEMPERING* TERHADAP
KEKERASAN BAJA ASSAB 705 YANG DI-
HARDENING UNTUK APLIKASI POROS POMPA
*MULTISTAGE***

MUHAMAD JUNDA AZIZI
02511540000045

Dosen Pembimbing
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL 184834

ANALYSIS OF THE EFFECT OF TEMPERING TEMPERATURE AND HOLDING TIME TO HARDENED ASSAB 705 STEEL HARDNESS FOR THE MULTISTAGE PUMP SHAFT COMPONENTS

MUHAMAD JUNDA AZIZI
02511540000045

Advisor
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.

MATERIALS ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2019

(This page left intentionally blank)

**ANALISIS PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DAN
WAKTU TAHAN *TEMPERING* TERHADAP KEKERASAN
BAJA ASSAB 705 YANG DI-*HARDENING* UNTUK
APLIKASI POROS POMPA *MULTISTAGE***

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Metalurgi Manufaktur
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MUHAMAD JUNDA AZIZI
0251154000045

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc..... (Pembimbing 1)
2. Ir. Rochman Rochiem, M.Sc..... (Pembimbing 2)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALISIS PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DAN
WAKTU TAHAN *TEMPERING* TERHADAP KEKERASAN
BAJA ASSAB 705 YANG DI-*HARDENING* UNTUK
APLIKASI POROS POMPA *MULTISTAGE***

Nama	: Muhamad Junda Azizi
NRP	: 025 1 15 40000 045
Jurusan	: Departemen Teknik Material
Pembimbing	: Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc. Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.

ABSTRAK

Pompa merupakan mesin fluida untuk memindahkan zat cair ke tempat yang diinginkan. Pompa beroperasi dengan membuat perbedaan tekanan antara bagian masuk (*suction*) dengan bagian keluar (*discharge*). Pada Pabrik Gula Gending, normalnya rata-rata umur pakai poros pompa *multistage* adalah empat tahun. Akan tetapi ditemui kegagalan pada poros pompa yang baru berumur beberapa bulan dari 4 tahun umur pakai yang direncanakan. Kegagalan pada poros tersebut adalah patah dan aus pada ulirnya. Berdasarkan ASTM A291, material standar untuk poros tersebut adalah ASSAB 705. Namun pengujian komposisi dan kekerasan menunjukkan bahwa poros pompa tersebut tidak memenuhi standar. Untuk memperbaiki sifat mekanik, dilakukan penelitian mengenai pengaruh variasi parameter perlakuan panas *tempering* terhadap baja ASSAB 705 untuk aplikasi poros pompa. Perlakuan yang diberikan adalah *water quench hardening* dengan temperatur 815°C dan waktu tahan 30 menit. Kemudian dilakukan *tempering* dengan temperatur 300°C, 350°C dan 400 °C dimana variasi waktu tahan tiap temperatur tersebut adalah 60 menit dan 120 menit. Pengujian metalografi menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur dan waktu tahan, martensit tampak semakin sedikit akibat terdekomposisi menjadi struktur ferrit dan bainit.

Pengujian XRD menunjukkan berkurangnya struktur BCT (martensit) seiring bertambahnya struktur BCC (bainit dan ferrit) pada temperatur dan waktu tahan yang makin tinggi. Spesimen dengan kekerasan dan ketahanan aus tertinggi adalah yang diberikan *tempering* dengan temperatur 300°C dan waktu tahan 60 menit. Sedangkan yang memiliki kekerasan dan ketahanan aus paling rendah adalah yang diberikan *tempering* dengan temperatur 400°C dan waktu tahan 120 menit.

Kata Kunci: Poros pompa multistage, ASSAB 705, Perlakuan Panas, Kekerasan, Keausan

ANALYSIS OF THE EFFECT OF TEMPERING TEMPERATURE AND HOLDING TIME TO HARDENED ASSAB 705 STEEL HARDNESS FOR THE MULTISTAGE PUMP SHAFT COMPONENTS

Name : Muhamad Junda Azizi
SRN : 025 1 15 40000 045
Major : Materials Engineering
Advisor : Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.

ABSTRACT

Pump is a fluid machine to move liquid which operates with making pressure gradient between suction side and discharge side. It means that pump converts mechanical energy to flow the liquid. In Gending Sugar Company, multistage pump shaft can normally operates for 4 years lifetime. But, there is a multistage pump shaft failure after only few months operating period. This shaft failure is fracture and screw surface wear out. According to ASTM A291, the material of this shaft should be ASSAB 705. However, spectroscopy and hardness test shows that this shaft is not suitable to used as multistage pump shaft. To improve the mechanical properties, heat treatment is necessary. So, this experiment is about heat treating ASSAB 705 steel. The heat treatment is water-quench hardening with temperature 815°C in 30 minutes. Then the steel tempered with temperature 300°C, 350°C and 400°C in 60 minutes and 120 minutes for each temperature. Metallography test shows that higher the tempering temperature and holding time, the martensite is fewer because it decomposed to ferrite and bainite. XRD test shows the corresponding result in the decreasing of BCT structure (martensite) as BCC structure (ferrite and bainite) increase in the higher tempering temperature and holding time. This phenomena affect the hardness and wear resistant of the steel. Speciment with highest hardness and wear

resistant is the 300°C-60 minutes tempered ASSAB 705 steel. While the specimen with lowest hardness and wear resistant is the 400°C-120 minutes tempered ASSAB 705 steel.

Keywords: *multistage pump shaft, ASSAB 705, heat treatment, hardness, wear resistant*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir. Shalawat serta salam penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membawa umat manusia keluar dari zaman jahiliyah. Tugas Akhir ditujukan untuk memenuhi mata kuliah wajib yang harus diambil oleh mahasiswa Departemen Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Penulis telah menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Analisis Pengaruh Variasi Temperatur dan Waktu Tahan Tempering terhadap Kekerasan Baja Assab 705 yang Di-Hardening untuk Aplikasi Poros Pompa Multistage”**.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, Laporan Tugas Akhir ini tidak dapat diselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan bantuan kepada penulis hingga Laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan, diantaranya:

1. Allah SWT atas lindungan dan pertolongan-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir.
2. Rasulullah Muhammad SAW atas ajaran yang membawa umat manusia keluar dari zaman jahiliyah.
3. Kedua orang tua dan kedua adik penulis yang mendukung secara moril, materil, dan doa demi keselamatan dan kelancaran dalam mengerjakan Tugas Akhir.
4. Bapak Dr. Agung Purniawan S.T, M.Eng., selaku Ketua Departemen Teknik Material FTI-ITS.
5. Bapak Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing 1 Tugas Akhir yang telah membimbing, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.

6. Bapak Ir. Rochman Rochiem M.Sc selaku dosen pembimbing 2 Tugas Akhir yang telah membimbing, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
7. Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Material FTI ITS.
8. Bapak Dr. Sungging Pintowantoro, S.T., M.T. selaku dosen wali yang telah membantu penulis menjalani pendidikan di Departemen Teknik Material FTI-ITS.
9. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material FTI-ITS yang membantu kelancaran Tugas Akhir penulis baik secara langsung maupun tidak langsung.
10. Bapak Agus Setya Wahyudi, Bapak Ngadiono dan Bapak Yugo, selaku pembimbing di Pabrik Gula Gending yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
11. Keluarga MT17 dan seluruh mahasiswa Teknik Material dan yang telah menemani dan memberikan banyak pengalaman berharga selama perkuliahan.
12. Seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terimakasih atas dukungan dan bantuan yang telah diberikan.

Dalam laporan ini, boleh jadi masih terdapat kekurangan yang tidak penulis sadari. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca agar karya berikutnya bisa lebih baik. Penulis berharap Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya.

Surabaya, 1 Januari 2019
Penulis,

Muhamad Junda Azizi

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pompa Sentrifugal <i>Multistage</i> Horizontal	5
2.2 Baja ASSAB 705	6
2.3 Diagram Fasa Fe-Fe ₃ C.....	7
2.4 Pengujian Komposisi	8
2.5 Perlakuan Panas	9
2.5.1 Pengerasan (<i>Hardening</i>)	9
2.5.2 <i>Austenizing</i>	10
2.5.3 <i>Quenching</i>	11
2.5.4 <i>Tempering</i>	13

2.6 Pengujian Kekerasan.....	15
2.7 Pengujian Metalografi.....	16
2.8 Penelitian Sebelumnya.....	16
2.8.1 Penelitian Metalurgis Kerusakan Poros <i>Intermediate Gearbox</i> pada <i>Reciprocating Compressor</i>	16
2.8.2 Analisis Kekerasan Baja Assab 705 Hasil Perlakuan Panas <i>Hardening</i> dengan Variasi Media Pendingin	17
2.8.3 Analisis Kegagalan Shaft Stainless Steel 17-4 PH pada Pompa Sentrifugal 107-JC di Pabrik 1 <i>Plant Amonia</i> PT. Petrokimia Gresik	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	19
3.1 Diagram Alir.....	19
3.2 Metode Penelitian	20
3.3 Material yang Digunakan.....	20
3.4 Peralatan	21
3.5 Tahapan Penelitian.....	24
3.5.1 Review Dokumen Perusahaan	24
3.5.2 Preparasi Spesimen.....	24
3.5.3 Pengujian Komposisi	25
3.5.4 Perlakuan Panas.....	25
3.5.5 Pengujian Metalografi	26
3.5.5 Pengujian Kekerasan	26
3.5.6 Pengujian Keausan.....	26
3.5.7 Pengujian XRD	26
3.6 Rancangan Penelitian.....	27
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Analisis Data.....	29

4.1.1 Hasil Pengujian Komposisi	29
4.1.2 Hasil Pengujian Kekerasan	29
4.1.3 Hasil Pengujian Metalografi	32
4.1.4 Hasil Pengujian Keausan	34
4.1.5 Hasil Pengujian XRD	35
4.2 Pembahasan	37
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	45
5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	xxi
LAMPIRAN	xxv
UCAPAN TERIMA KASIH	xxxvii
BIODATA PENULIS	xxxix

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pompa Sentrifugal <i>Multistage</i> Poros Horizontal (Sumarno, 2015).....	6
Gambar 2.2 Diagram Fasa Fe-Fe ₃ C (Callister, 2009).....	8
Gambar 2.3 Rentang temperatur austenisasi (Suherman, 2011)	10
Gambar 2.4 Tiga tahapan pada <i>quenching</i> (Thelning, 2000).....	12
Gambar 2.5 Diagram pengaruh kadar karbon pada kekerasan (Thelning, 2000).....	14
Gambar 2.6 Diagram pengaruh unsur paduan pada kekerasan (Thelning, 2000).....	14
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	19
Gambar 3.2 Poros pompa yang patah dan aus	21
Gambar 3.3 Mesin uji kekerasan	22
Gambar 3.4 <i>Electric furnace</i>	23
Gambar 3.5 Mikroskop Optik.....	23
Gambar 3.6 Mesin uji XRD	24
Gambar 3.7 Rancangan kurva perlakuan panas	25
Gambar 4.1 Titik uji kekerasan spesimen.....	30
Gambar 4.2 Grafik hasil uji kekerasan	31
Gambar 4.3 Grafik distribusi kekerasan pada tiap spesimen	31
Gambar 4.4 Hasil uji metalografi dengan perbesaran 500x pada spesimen: (1) ht60t300, (2) ht120t300, (3) ht60t350, (4) ht120t350, (5) ht60t400, (6) ht120t400, (7) H, (8) TP	33
Gambar 4.5 Grafik hasil uji keausan	34
Gambar 4.6 Analisis kualitatif fasa dari hasil uji XRD	35
Gambar 4.7 Analisis kuantitatif fasa spesimen ht60t300 dari hasil uji XRD.....	36
Gambar 4.8 Analisis kuantitatif fasa spesimen ht120t400 dari hasil uji XRD.....	36

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Standar Komposisi Kimia AISI 4340	7
Table 3.1 Komposisi ASSAB 705 menurut Standar ASSAB.....	21
Table 3.2 Rancangan Penelitian	27
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Komposisi	29
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Kekerasan tiap Spesimen	30
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Keausan	34

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pabrik Gula (PG) Gending adalah salah satu pabrik gula yang berada di Kabupten Probolinggo. Pabrik yang berdiri sejak tahun 1830 dan sekarang dinaungi PT Perkebunan Nusantara XI ini menggunakan bahan baku tebu dari kebun kelolaan pabrik yang terletak di sekitar lokasi pabrik. Selain itu, tebu juga diperoleh dari para petani yang menjalin kerjasama dengan pabrik. Produk utama PG Gending, yaitu gula, adalah kristal sakarosa yang diekstrak dari nira tebu. Untuk memperoleh nira tersebut, tebu harus digiling. Proses produksi gula berlangsung selama musim tebu, atau disebut juga masa giling, yaitu selama 4-6 bulan. Selama masa giling, proses produksi gula di Pabrik Gula Gending Probolinggo berlangsung 24 jam nonstop dan harus menggiling hingga 65 ton tebu tiap jam. Nira yang telah diperah tersebut kemudian dimurnikan dan dimasak sebelum menjalani proses kristalisasi. Proses pemurnian dan pemasakan tersebut dilakukan dengan menyalurkan air panas dari uap sisa penggerak turbin untuk memanaskan nira dengan tujuan menekan kandungan air dalam nira. Penyaluran tersebut menggunakan pompa listrik *multistage*. Pada penelitian ini, terdapat masalah pada pompa tersebut. Putaran dari motor listrik menggerakkan poros utama pompa dimana pada poros utama tersebut terpasang beberapa *impeller* yang berfungsi untuk memompa secara bertahap air panas dari uap yang telah terkondensasi. Pada awal pengoperasian, saat poros pompa masih dipasang sebagai komponen orisinil, poros tersebut dilaporkan mengalami kegagalan setelah empat tahun operasi. Akan tetapi setelah poros tersebut dipasang oleh pabrik lokal, umur pakainya turun secara signifikan. Rata-rata umur pakainya kurang dari satu tahun atau bahkan hanya beberapa bulan saja dari 4 tahun umur pakai yang direncanakan.

Berdasarkan ASTM A291, material standar untuk aplikasi poros adalah ASSAB 705. Saat dilakukan pengujian, komposisi



poros yang gagal tidak sesuai standar ASSAB 705. Dari komposisinya, material poros yang gagal adalah setara AISI 1040. Nilai kekerasan material ini juga tidak memenuhi standar untuk aplikasi poros, hanya sebesar 176 HV. Sedangkan menurut standar poros (ASTM A291) seharusnya berkisar 341 – 415 HV. Dari permasalahan tersebut, optimalisasi sifat mekanik material perlu dilakukan. Salah satunya adalah dengan perlakuan panas. Penelitian dilakukan terhadap material yang komposisinya sesuai standar yaitu AISI 4340 (setara ASSAB 705) untuk diberi perlakuan panas dengan beberapa variabel dan kemudian diamati responnya dari segi struktur mikro dan sifat mekanik. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kekerasan dari poros pompa *multistage* sehingga memenuhi standar dan memiliki umur pakai sesuai rencana. Material diberi perlakuan *hardening*. Namun karena hasil dari proses *hardening* tersebut terlalu keras dan getas, perlu dilakukan proses *tempering* untuk menurunkan kekerasannya dan meningkatkan ketangguhannya.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh waktu tahan tempering pada proses pengerasan baja ASSAB 705 terhadap kekerasan dan struktur mikro?
2. Bagaimana pengaruh temperatur tempering pada proses pengerasan baja ASSAB 705 terhadap kekerasan dan struktur mikro?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Desain poros memenuhi standar operasional
2. Kondisi operasi sesuai SOP
3. Material dianggap homogen di semua sisi
4. Pengaruh lingkungan diabaikan
5. Lama waktu pemindahan spesimen uji dari dapur ke media pendingin diasumsikan konstan pada semua spesimen uji.



1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh waktu tahan tempering pada proses pengerasan baja ASSAB 705 terhadap sifat mekanik dan struktur mikro, sebagai solusi kegagalan yang terjadi pada komponen poros pompa *multistage*.
2. Menganalisis pengaruh temperatur tempering pada proses pengerasan baja ASSAB 705 terhadap sifat mekanik dan struktur mikro, sebagai solusi kegagalan yang terjadi pada komponen poros pompa *multistage*.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan mampu memberi manfaat kepada seluruh pihak yang berkaitan, yaitu mahasiswa sebagai pelaksana penelitian mampu memahami serta mengaplikasikan ilmu yang telah didapat khususnya cabang ilmu material dan metalurgi. Hasil dari penelitian ini adalah berupa *database* perlakuan panas terhadap baja ASSAB 705 yang dapat digunakan untuk:

1. Rekomendasi untuk Pabrik Gula Gending terkait hal-hal yang dapat dilakukan agar masalah kegagalan pada poros pompa *multistage* dapat ditanggulangi
2. Referensi perlakuan panas terhadap baja ASSAB 705 pada aplikasi poros pompa *multistage* untuk penelitian yang lebih lanjut



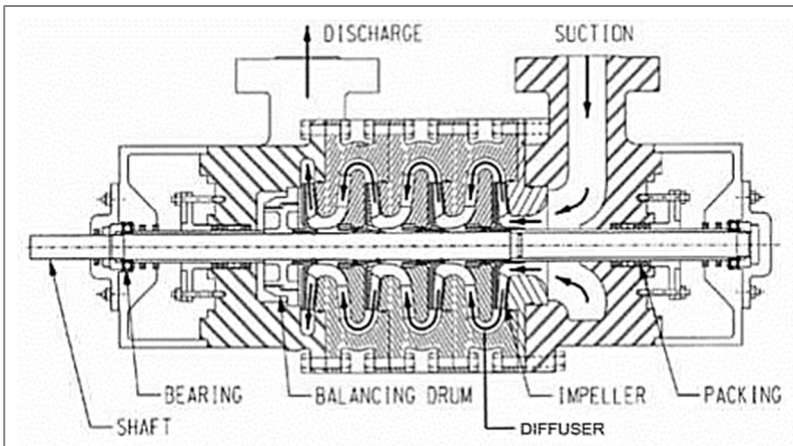
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pompa Sentrifugal *Multistage* Horizontal

Pompa adalah mesin fluida yang berfungsi untuk memindahkan zat cair. Pompa membuat perbedaan tekanan antara bagian masuk (*suction*) dengan bagian keluar (*discharge*). Dengan kata lain, pompa berfungsi mengubah tenaga mekanis dari sumber tenaga penggerak (motor) menjadi tenaga kinetis (kecepatan), dimana tenaga ini berguna untuk mengalirkan cairan dan mengatasi hambatan yang ada sepanjang pengaliran. Pada prinsipnya, pompa mengkonversi energi mekanik dari suatu penggerak menjadi energi aliran pada fluida yang melaluinya. Dengan demikian, pompa meningkatkan energi aliran pada fluida yang melaluinya. Pompa menaikkan energi fluida tersebut yang kemudian dapat digunakan untuk mengalirkan ke tempat yang lebih tinggi dan mengatasi tahanan hidrolik dari hisap dan tekan serta mempercepat aliran. Dari sudut pandang energi, pompa adalah kebalikan dari motor atau mesin hidrolik dimana pada hidrolik energi fluida diubah menjadi kerja mekanik. Salah satu jenis pompa adalah pompa sentrifugal *multistage* horizontal. Pompa ini menggunakan beberapa *impeller* yang dipasang secara seri pada satu poros. Zat cair yang keluar dari *impeller* pertama dimasukkan ke *impeller* berikutnya dan seterusnya hingga *impeller* terakhir. *Head* total pompa merupakan penjumlahan dari *head* yang ditimbulkan oleh masing-masing *impeller* sehingga relatif tinggi. Pompa ini merupakan pompa yang mampu untuk meningkatkan tekanan tinggi dan memiliki kapasitas menengah. Desain pompa dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Pompa *Multistage* Horizontal (Sumarno, 2015)

2.2 Baja ASSAB 705

Baja ASSAB 705 merupakan baja karbon menengah yang sangat banyak di gunakan dalam dunia industri yang mengandung karbon sebesar 0,38-0,43%C, dan dengan kandungan karbonnya memungkinkan baja untuk dikeraskan dengan pengerjaan perlakuan panas (*heat treatment*) yang sesuai seperti *hardening*. Selain itu baja ASSAB 705 juga sangat cocok diberikan perlakuan panas *hardening* bila dibandingkan dengan baja lainnya seperti baja karbon rendah maupun baja karbon tinggi. (Budi Syahri, 2017)

Berdasarkan katalog resmi ASSAB, material ASSAB 705 setara dengan baja AISI 4340. Baja ini memiliki *hardenability* yang bagus bahkan pada ukuran penampang yang besar.

Baja AISI 4340 adalah baja paduan yang memiliki temperatur austenisasi 815-845°C dengan standar komposisi seperti pada Tabel 2.1



Tabel 2.1 Standar Komposisi Kimia AISI 4340

Unsur	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo
(%)	0.38- 0.43	0.6- 0.8	0.2- 0.35	0.7- 0.9	1.65- 2.0	0.2- 0.3

(ASM Handbook, 1991)

2.3 Diagram Fasa Fe-Fe₃C

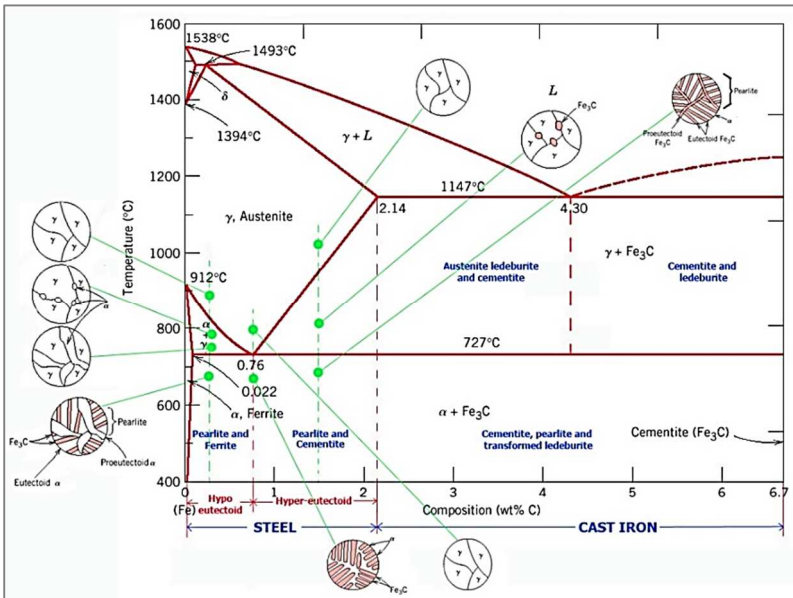
Karbon dapat larut dalam besi cair, tetapi dalam keadaan padat kelarutan karbon dalam besi akan terbatas. Selain sebagai larutan padat, besi dan karbon juga dapat membentuk senyawa interstisial (*interstitial compound*), eutektik dan juga eutektoid, atau mungkin juga karbon akan terpisah (sebagai grafit). Karena itu diagram fase besi-karbon ada 2 macam, diagram fase besi – karbida besi dan diagram fase besi – grafit. Diagram keseimbangan besi – karbon cukup kompleks, tetapi hanya sebagian saja yang penting bagi dunia teknik, yaitu bagian antara besi murni sampai senyawa intersisinya, karbida besi Fe₃C, yang mengandung 6,67%C. Dan diagram fase yang banyak digunakan adalah diagram fase besi – karbida besi, diagram Fe – Fe₃C. Pada keadaan yang benar-benar ekuilibrium, karbon akan berupa karbon bebas (grafit), sehingga akan diperoleh diagram kesetimbangan besi-grafit. Perubahan-perubahan dalam keadaan ekuilibrium berlangsung terlalu lama. Seharusnya karbida besi akan terjadi pada temperatur kamar (pada temperatur sekitar 700°C pun perubahan ini akan makan waktu bertahun – tahun). Dalam hal ini karbida besi dikatakan sebagai suatu struktur yang *metastabil*. (Avner, 1974)

Dari diagram fasa Fe-Fe₃C pada Gambar 2.2 dapat diketahui bahwa:

- Pada 1493°C, kadar karbon antara 0,10 – 0,50 %, berlangsung reaksi peritektik. $L + \delta \rightarrow \gamma$ (daerah ini tidak begitu penting untuk dunia teknik)
- Pada 1147°C, kadar karbon antara 2,0 – 6,67 %, berlangsung reaksi eutektik. *Liquid* berubah menjadi austenit dan sementit.



- Pada 727°C , kadar karbon antara 0,025 – 6,67 %, berlangsung reaksi eutektoid. Austenit berubah menjadi ferrit- α dan sementit.



Gambar 2.2 Diagram Fasa Fe-Fe₃C (Callister, 2009)

2.4 Pengujian Komposisi

Pengujian komposisi kimia merupakan suatu pengujian untuk mengetahui kandungan unsur kimia yang terdapat pada suatu logam benda uji. Komposisi kimia dari logam sangat penting untuk menghasilkan sifat logam yang baik. *Spectrometer* adalah alat yang mampu menganalisa unsur-unsur logam induk dan campurannya dengan akurat, cepat dan mudah dioperasikan. Prinsip dasar dari diketahuinnya kandungan unsur dan komposisinya pada alat ini adalah apabila suatu logam dikenakan energi listrik atau panas maka kondisi atomnya menjadi tidak stabil. Elektron-elektron yang bergerak pada orbit atomnya akan melompat ke orbit yang lebih tinggi. Apabila energi yang dikenakan dihilangkan maka elektron



tersebut akan kembali ke orbit semula dan energi yang diterimanya akan dipancarkan kembali dalam bentuk sinar. Sinar yang terpancar memiliki panjang gelombang tertentu sesuai dengan jenis atom unsurnya, sedangkan intensitas sinar terpancar sebanding dengan kadar konsentrasi unsur. Hal ini menjelaskan bahwa suatu unsur dan kadarnya dapat diketahui melalui panjang gelombang dan intensitas sinar yang terpancar. (Yogantoro, 2010)

2.5 Perlakuan Panas

Perlakuan panas merupakan kombinasi operasi pemanasan dan pendinginan terhadap logam atau paduan dalam keadaan padat dengan waktu tertentu, dimaksudkan untuk memperoleh sifat tertentu (Avner, 1974). Secara umum heat treatment dibagi dalam tiga tahap, yaitu:

1. Pemanasan sampai suhu tertentu sesuai dengan proses *heat treatment* dan dengan kecepatan tertentu tergantung dari dimensi dan konduktivitas perpindahan panas benda kerja.
2. Mempertahankan temperatur untuk waktu tertentu, sehingga temperaturnya merata pada seluruh bagian benda kerja.
3. Pendinginan dengan media pendingin yang bergantung pada proses *heat treatment* dan benda kerja.

Pada baja karbon rendah dan sedang biasanya menggunakan air sebagai media pendingin (*coolant*), karena laju pendinginannya cukup cepat sehingga terbentuk martensit. Sedangkan pada baja karbon tinggi dan baja paduan digunakan minyak atau oli sebagai media pendingin dengan laju pendinginan yang lebih lambat. (Yani, 2008)

2.5.1 Pengerasan (*Hardening*)

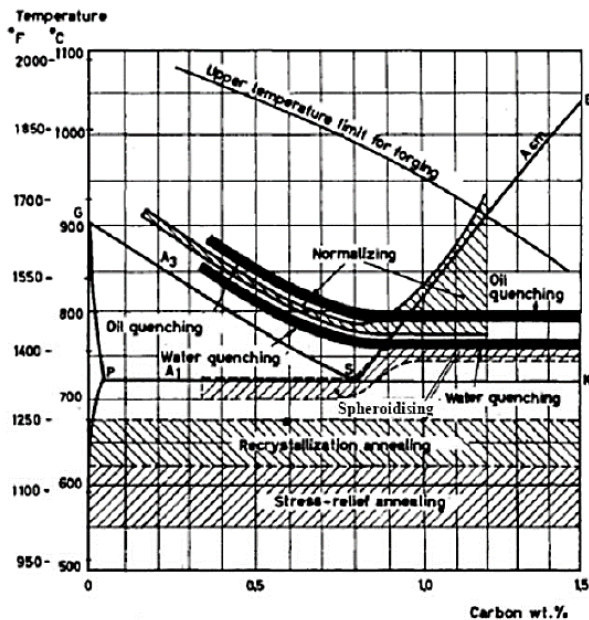
Proses ini berguna untuk memperbaiki kekerasan dari baja tanpa mengubah komposisi kimia secara keseluruhan. Proses ini mencakup proses pemanasan austenisasi dan diikuti oleh pendinginan dengan kecepatan tertentu untuk mendapatkan sifat-sifat yang diinginkan. Temperatur yang dipilih tergantung pada jenis baja yang diproses, dimana temperatur pemanasan 50-100°C



di atas garis A_3 untuk baja *hypoeutectoid*. Sedangkan proses pendinginannya bermacam-macam tergantung pada kecepatan pendinginan dan media *quenching* yang dikehendaki. Untuk pendinginan yang cepat akan didapatkan sifat logam yang keras dan getas sedangkan untuk pendinginan yang lambat akan didapatkan sifat yang lunak dan ulet. Pada baja hipoeutektoid temperatur di atas garis A_3 , struktur baja akan seluruhnya berkomposisi butir austenit, dan pada saat pendinginan cepat akan menghasilkan martensit. (Suherman, 1999)

2.5.2 Austenizing

Pada proses austenisasi, baja dipanaskan sampai daerah *austenite* (γ) dan ditahan selama waktu tertentu untuk melarutkan karbida sampai menjadi larutan padat *austenite* (Campbell, 2008). Temperatur yang diperlukan untuk melakukan austenitisasi pada kadar karbon tertentu seperti pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 Rentang temperatur austenisasi (Suherman, 2011)



Peningkatan kadar karbon, temperatur berkurang sepanjang garis A_3 sampai mencapai minimum pada A_1 , komposisi *austenite* (0,8%), dan lalu meningkat sepanjang garis A_{cm} . Tahap pertama pada pembentukan *austenite* adalah nukleasi dan pertumbuhan *austenite* dari perlit ($Fe-\alpha + Fe_3C$). Pembentukan *austenite* dapat dipercepat dengan meningkatkan temperatur dan meningkatkan kehalusan partikel karbida mula-mula. Meskipun begitu, temperatur austenitisasi perlu dijaga serendah mungkin untuk mengurangi retak dan distorsi, mengurangi oksidasi dan dekarburisasi, dan mengurangi pertumbuhan butir. Temperatur yang untuk mendapatkan 100% *austenite* pada baja hipoeutektoid cukup tinggi, meskipun begitu *austenite* untuk pengerasan pada baja dapat diperoleh pada temperatur sekitar 770°C. Karbida yang tidak terlarut dalam jumlah kecil memiliki pengaruh yang kecil pada sifat mekanik akhir baja. (Campbell, 2008)

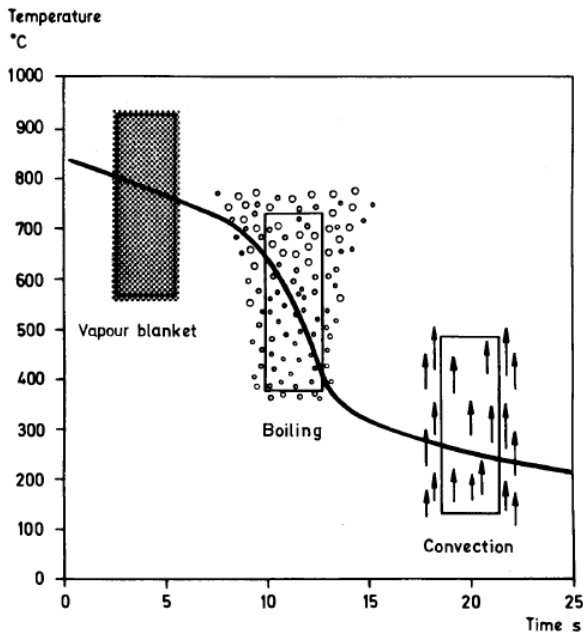
2.5.3 Quenching

Proses *quenching* adalah proses *heat transfer* (perpindahan panas) dengan laju yang sangat cepat. Pada perlakuan *quenching* terjadi percepatan pendinginan dari temperatur akhir perlakuan dan mengalami perubahan dari *austenite* menjadi *bainite* dan *martensite* untuk menghasilkan kekuatan dan kekerasan yang tinggi. Pengerasan maksimum yang dapat dicapai baja yang di-quench hampir sepenuhnya ditentukan oleh konsentrasi karbon dan kecepatan pendinginan yang sama atau lebih tinggi dengan kecepatan pendinginan kritis untuk paduan tersebut. Media *quenching* meliputi: air, air garam, oli, *air-polymer*, dan beberapa kasus digunakan gas inert. Pada awal pencelupan, logam akan diselimuti oleh selubung uap, yang akan pecah saat logam mendingin. Perpindahan panas saat terbentuknya selubung uap ini buruk, logam akan mendingin dengan lambat pada tahap ini. Stabilitas dan lamanya proses pendinginan sangat dipengaruhi oleh agitasi, umumnya waktu pendinginan tahap ini berkurang dengan peningkatan agitasi. Pada tahap berikutnya terjadi perpindahan panas yang cepat karena logam langsung bersentuhan dengan air. Pada tahap ini, logam masih sangat panas dan air akan mendidih



dengan hebatnya. Kecepatan pembentukan uap air menunjukkan sangat tingginya laju perpindahan panas. Selanjutnya perpindahan panas pada pendinginan tahap ini dapat ditingkatkan dengan peningkatan agitasi. Selanjutnya, merupakan tahap pendinginan konveksi dan konduksi, dimana permukaan logam telah bertemperatur dibawah titik didih air. Perpindahan panas terjadi melalui konveksi dan konduksi. Perpindahan panas konveksi terdiri dari konveksi alamiah dan konveksi paksa. Konveksi paksa yang terjadi karena gaya luar seperti agitasi secara umum perpindahan panasnya lebih cepat dari pada konveksi alamiah, laju pendinginan meningkat dengan peningkatan agitasi. (Totten, 1993)

Pada proses *quenching* baja dalam media pendingin cair, keseluruhan prosesnya dapat dibagi menjadi tahap *vapour blanket*, *boiling* dan *convection*. Sebagaimana pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Tiga tahapan pada *quenching* (Thelning, 2000)



2.5.4 Tempering

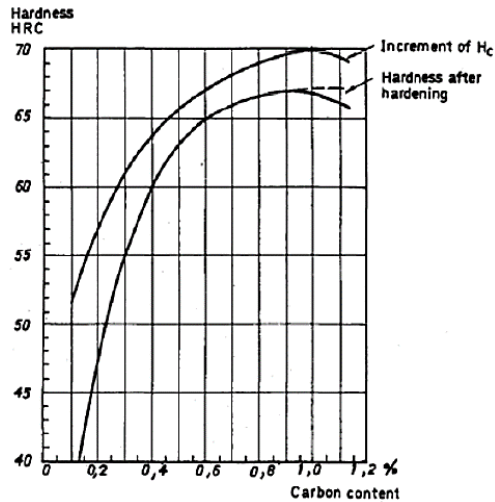
Baja yang telah dikeraskan bersifat rapuh dan kurang cocok digunakan. Melalui *tempering*, kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi syarat penggunaan. Proses *tempering* terdiri dari pemanasan kembali baja yang telah dipanaskan atau dikeraskan pada suhu di bawah suhu kritis disusul dengan pendinginan. Meskipun proses ini menghasilkan baja yang lunak, proses ini berbeda dengan proses *annealing* karena disini sifat-sifat dapat dikendalikan dengan cermat. *Tempering* dapat mengubah struktur mikro dan sifat mekanik setelah pengerasan karena sifat struktur martensit yang tidak stabil. (Djaprie, 1990)

Proses *tempering* pada pemanasan sampai temperatur tertentu dan didinginkan dengan lambat. Pemanasan dilakukan sampai temperatur yang diperlukan, biasanya antara 200-600°C tergantung pada keperluan. Makin tinggi temperatur pemanasan, makin besar penurunan kekerasan sedangkan keuletannya bertambah. (Alexander, 1990)

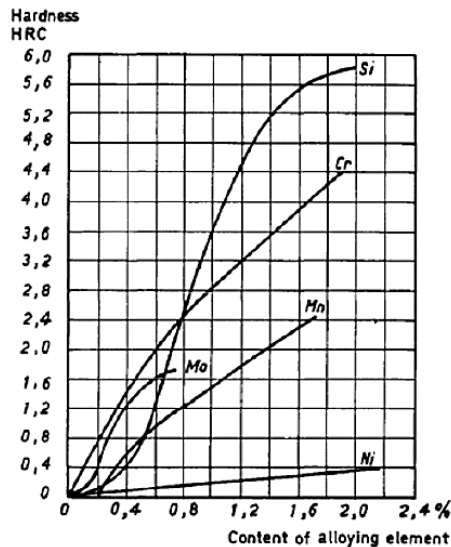
Jaffe dan Gordon merumuskan persamaan untuk menghitung kekerasan pada baja paduan rendah setelah *tempering*. Metode ini mengasumsikan bahwa struktur yang diperoleh setelah *hardening* adalah seluruhnya martensit. Rumus perhitungan dapat dilihat pada persamaan (2.1).

$$T = 16.67 (H_c - H_a) - 17.8 \quad \text{.....(2.1)}$$

Temperatur *tempering* dalam Celcius untuk mendapatkan nilai kekerasan tertentu (H_a) dapat dihitung dengan mengetahui nilai kekerasan berdasarkan pengaruh unsur paduan (H_c). Nilai H_c diperoleh dari diagram pada Gambar 2.5-2.6. Persamaan (2.1) bagus digunakan untuk *tempering* dengan waktu tahan 4 jam.



Gambar 2.5 Diagram pengaruh kadar karbon pada kekerasan (Thelning, 2000)



Gambar 2.6 Diagram pengaruh unsur paduan pada kekerasan (Thelning, 2000)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Pada perlakuan *tempering*, martensit dan austenite sisa bertransformasi menjadi struktur tertentu. Proses transformasi ini tidak hanya bergantung pada temperatur, tapi juga bergantung waktu. Hollomon dan Jaffe telah menginvestigasi faktor waktu-temperatur yang melahirkan pengembangan parameter *tempering* (P) pada persamaan (2.2).

$$P = T (k + \log t) \quad \text{.....(2.2)}$$

Temperatur *tempering* yang digunakan adalah absolut, yaitu dalam Kelvin. Nilai k yang digunakan adalah 20. Nilai ini dapat digunakan untuk semua baja. Satuan waktu (t) yang digunakan adalah dalam jam. (Suherman, 2011)

2.6 Pengujian Kekerasan

Kekerasan menyatakan ketahanan terhadap deformasi dan merupakan ukuran ketahanan logam terhadap deformasi plastik atau deformasi permanen. Hal ini sering diartikan sebagai ukuran kemudahan dan kuantitas khusus yang menunjukkan nilai kekerasan material. Pada pengujian kekerasan terdapat tiga jenis ukuran kekerasan. Hal ini tergantung metode pengujian, yaitu:

- a. Kekerasan goresan (*scratch hardness*)
- b. Kekerasan lekukan (*indentation hardness*)
- c. Kekerasan pantulan (*rebound*)

Pengujian yang sering dilakukan pada logam adalah pengujian kekerasan indentasi. Pada model ini kekerasan suatu material diukur terhadap tahanan plastis dari permukaan suatu material komponen konstruksi mesin dengan spesimen standar terhadap indenter. Salah satu jenis uji kekerasan indentasi adalah metode Vickers. Uji kekerasan Vickers menggunakan indenter piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besarnya sudut antara permukaan-permukaan piramida yang saling berhadapan adalah 136°. Sudut ini dipilih karena nilai tersebut mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola indenter pada uji kekerasan Brinell. Angka kekerasan piramida intan (DPH), atau



angka kekerasan Vickers (VHN atau VPH), didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. (Dieter, 1987)

Pada prakteknya, luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak (d) sebagai pembagi beban indentasi (P). VHN dapat ditentukan dari Persamaan (2.3).

$$VHN = \frac{2P \sin(\frac{\theta}{2})}{d^2} = \frac{1,845P}{d^2} \quad \text{.....(2.3)}$$

2.7 Pengujian Metalografi

Metalografi menyangkup studi yang berhubungan dengan karakteristik struktur dari metal atau paduan. Dalam metalografi, penentuan ukuran butir, bentuk, dan distribusi dari berbagai macam struktur mikro dan inklusi dimana hal-hal tersebut memberikan dampak yang besar pada karakteristik mekanis dari material tersebut sangat memungkinkan. Preparasi material untuk studi ini meliputi *cutting*, *grinding*, *mounting*, dan *polishing*. Preparasi tersebut diperlukan agar permukaan menjadi lebih jernih tanpa ada goresan yang mengganggu observasi struktur mikro nantinya. Setelah material selesai di preparasi, selanjutnya dilakukan pengetsaan atau *etching* sesuai dengan larutan yang ada pada standar. Selanjutnya, material akan diobservasi struktur mikronya dengan mikroskop optik dan dianalisis. (Avner, 1974)

2.8 Penelitian Sebelumnya

2.8.1 Penelitian Metalurgis Kerusakan Poros *Intermediate Gearbox* pada *Reciprocating Compressor*

Penelitian yang dilakukan oleh D. N. Adnyana (2016) menyatakan hasil pengujian dan analisis metalurgi pada patahan poros *intermediate gearbox* dari sebuah kompresor torak. Poros *intermediate gearbox* tersebut memiliki gigi di bagian ujungnya dan dibuat dari baja permesinan dengan spesifikasi AISI 4340. Pada awal pengoperasiannya, saat poros menengah tersebut masih dipasang sebagai komponen orisinil, poros tersebut dilaporkan mengalami kerusakan setelah tiga tahun operasi, tetapi setelah



poros tersebut dibuat oleh pabrikan lokal, umur pakainya turun secara signifikan. Rata-rata umur pakainya kurang dari satu tahun atau bahkan hanya beberapa bulan saja. Untuk melakukan pengujian dan analisis metalurgi, sejumlah benda uji dipersiapkan baik dari poros yang patah maupun dari poros yang tidak patah untuk pengujian laboratorium meliputi uji makroskopik, analisa kimia, uji tarik, uji metalografi, uji kekerasan dan analisis menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) yang dilengkapi dengan EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*). Hasil pengujian dan analisis metalurgi menunjukkan bahwa *gearbox* poros menengah telah mengalami patah lelah yang disebabkan oleh tegangan nominal yang tinggi akibat kombinasi tegangan geser, tegangan lentur dan tegangan torsi. Tegangan nominal yang tinggi yang dialami oleh poros *intermediate* selama operasi kemungkinan disebabkan oleh kekuatan material poros yang rendah. Adanya struktur perlit dan terutama ferit dalam struktur mikro material poros *intermediate* tersebut dapat menurunkan sifat mekanis secara signifikan dan ini kemungkinan dapat dikaitkan dengan ketidaksesuaian dalam proses manufaktur dan/atau proses laku panas yang diberikan pada poros tersebut. Disamping itu, percepatan patah lelah yang terjadi pada poros *intermediate* tersebut tidak dibantu oleh proses korosi.

2.8.2 Analisis Kekerasan Baja Assab 705 Hasil Perlakuan Panas *Hardening* dengan Variasi Media Pendingin

Penelitian yang dilakukan Budi Syahri (2017) ini adalah proses pengerasan baja ASSAB 705 dengan media pendingin yang berbeda yaitu oli, air dan larutan garam. Hasil uji kekerasan metode Brinell menunjukan bahwa peningkatan kekerasan pada spesimen yang di-*quenching* dengan oli sebesar 15,62% sedangkan pada spesimen yang di-*quenching* dengan air meningkat sebesar 17,28% dan pada spesimen yang di-*quenching* dengan larutan garam meningkat sekitar 20,30%. Media pendingin yang memberikan dampak paling signifikan adalah larutan garam, yang nilai BHN analisa mencapai 597,13 dibandingkan dengan



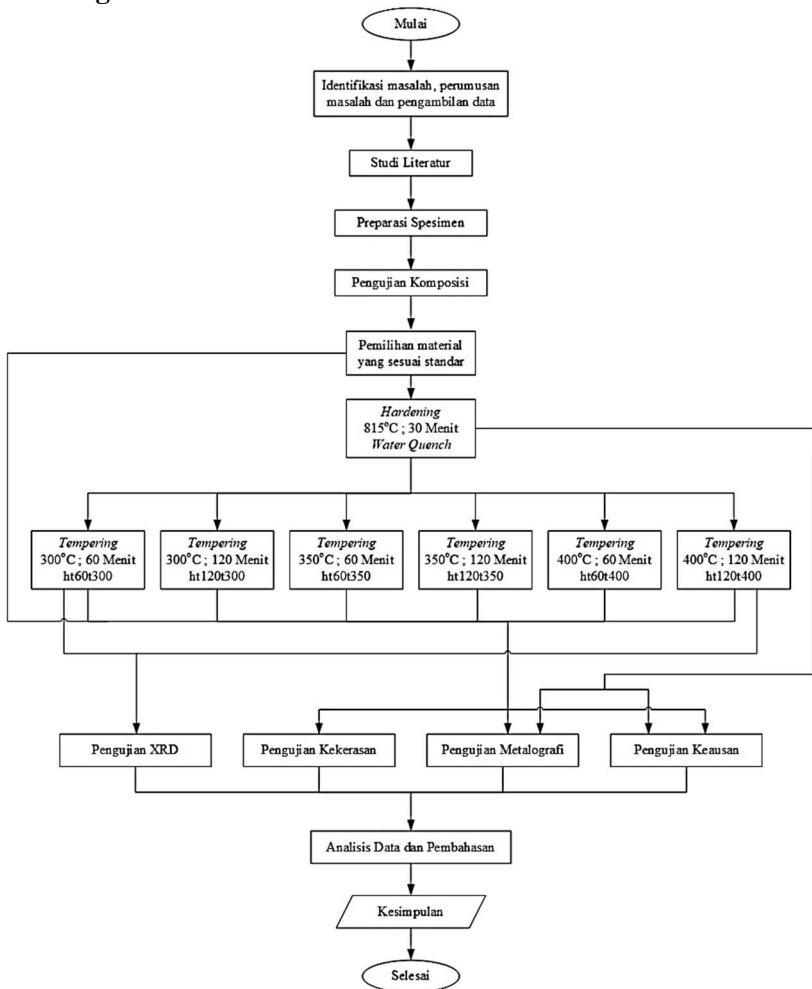
spesimen tanpa perlakuan yang memiliki kekerasan 327,21 dengan BHN analisa sebesar 341,21.

2.8.3 Analisis Kegagalan Poros *Stainless Steel 17-4 PH* pada Pompa Sentrifugal 107-JC di Pabrik 1 *Plant Amonia PT. Petrokimia Gresik*

Penelitian yang dilakukan Galih Nurhadyan (2011) yaitu kegagalan pada *shaft* pompa 107-JC yang terbuat dari baja tahan karat seri 17-4 PH dilakukan dengan metoda investigasi secara metalurgi. *Shaft* pompa tersebut mengalami kegagalan pada tanggal 19 Desember 2010 yang mengakibatkan dimatikannya pompa tersebut. Pompa tersebut adalah pompa sentrifugal yang digunakan untuk mengalirkan fluida berupa *Semi Lean Benfield Solution* (K_2CO_3) untuk proses produksi amonia. Pengamatan awal secara visual pada daerah yang patah menunjukkan bahwa letak *shaft fracture* berada pada posisi *keyway* di bawah *impeller*. Pengamatan juga dilakukan dengan komparasi hasil pemeriksaan secara fraktografi, fotografi, metalografi, identifikasi komposisi kimia, dan pengujian mekanik yang menjadi skema dasar dari penelitian ini. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan faktor penyebab kegagalan poros pompa tersebut. Hasil pengamatan pada penampang poros yang patah ditemukan adanya retakan. Retakan tersebut berasal dari sudut daerah rumah pasak (*crack initiation*) yang kemudian membentuk rambatan retakan (*crack propagation*) dan akhirnya patah seluruhnya pada bagian sisi poros (*final rupture*). Sehingga dapat disimpulkan bahwa mekanisme terjadinya perpatahan adalah berupa patah lelah (*fatigue*).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian



3.2 Metode Penelitian

Metode Penelitian yang digunakan dalam penelitian kali ini antara lain studi lapangan, pengujian dan studi literatur. Adapun hal-hal yang mencakup penelitian antara lain:

1. Studi lapangan

Metode ini mengacu pada pencarian informasi tentang komponen yang telah diteliti beserta informasi tentang kegagalan yang terjadi pada komponennya dengan pencarian langsung ke lapangan yaitu Pabrik Gula Gending Probolinggo, dan berdiskusi dengan dosen mata kuliah, dosen pembimbing, dan pihak Pabrik Gula Gending Probolinggo yang ahli dibidangnya.

2. Studi Literatur

Metode studi literatur mengacu pada buku-buku, jurnal-jurnal penelitian, dan situs industri yang berkaitan dengan proses perlakuan panas pada poros pompa.

3. Pengujian

Metode ini dilakukan dengan pengujian langsung sesuai dengan prosedur dan metode yang ada. Adapun pengujian yang diperlukan dalam penelitian ini yaitu: pengamatan struktur mikro dengan mikroskop optik, pengujian komposisi dengan menggunakan OES (*Optical Emission Spectroscopy*), pengujian keausan dengan mesin *pin on disc*, pengujian kekerasan Vickers dan pengujian XRD.

3.3 Material yang Digunakan

Pada awal pengoperasian pompa, saat poros pompa masih dipasang sebagai komponen orisinil, poros tersebut dilaporkan mengalami kerusakan setelah empat tahun operasi. Akan tetapi setelah poros tersebut dipasang oleh pabrikan lokal, umur pakainya turun secara signifikan. Rata-rata umur pakainya kurang dari satu tahun, bahkan hanya beberapa bulan saja. Kegagalan pada poros baru tersebut adalah patah dan aus pada ulirnya, sebagaimana pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Poros pompa yang patah dan aus

Berdasarkan keterangan dari pihak Pabrik Gula Gending Probolinggo, material yang digunakan untuk komponen poros pompa *multistage* horizontal di pabrik tersebut adalah ASSAB 705 dengan komposisi seperti pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Komposisi ASSAB 705 menurut standar ASSAB

Unsur	C	Mn	Cr	Ni	Mo	Si	S	P	Fe
(%)	0.4	0.7	0.8	1.8	0.25	0.2	0.04	0.035	Bal

3.4 Peralatan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Mesin Pemotong
Digunakan untuk memotong material untuk dijadikan sebagai sampel penelitian
2. Mesin *Grinding-Polishing*
Digunakan untuk preparasi permukaan material



3. *OES (Optical Emission Spectroscopy)*
Digunakan untuk mengetahui komposisi kimia material yang diteliti
4. *Mesin Uji Kekerasan*
Digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan material dengan indentasi



Gambar 3.3 Mesin Uji Kekerasan

5. *Electric Furnace*
Digunakan untuk melakukan perlakuan panas terhadap material, khususnya pada proses pemanasan dan austenisasi material



Gambar 3.4 *Electric Furnace*

6. Larutan Etsa Nital
Digunakan untuk menampakkan struktur mikro dari material yang diuji. Etsa Nital 4% terdiri dari 4 ml HNO_3 dan 96 ml ethanol 98%
7. Mikroskop Optik
Digunakan untuk mengetahui fasa atau struktur mikro yang terbentuk dalam suatu material



Gambar 3.5 Mikroskop Optik



8. Mesin Uji Keausan *Pin on Disc*
Digunakan untuk mengetahui tingkat keausan material
9. Mesin Uji XRD
Digunakan untuk mengetahui fasa pada material, baik secara kualitatif maupun kuantitatif



Gambar 3.6 Mesin Uji XRD

3.5 Tahapan Penelitian

3.5.1 Review Dokumen Penelitian

Review dokumen perusahaan dilakukan untuk mendapatkan data-data perusahaan yang berkaitan dengan poros pompa *multistage* sebagai pendukung proses penelitian. Dengan begitu, hasil yang diperoleh valid. Berikut adalah data-data yang diambil dari dokumen perusahaan, yaitu:

1. Data operasi
2. Spesifikasi material

3.5.2 Preparasi Spesimen

Tahap Persiapan ini diperlukan sebelum melakukan pengujian untuk menentukan penyebab kegagalan/keausan poros pompa *multistage* dan respon material terhadap perlakuan panas.



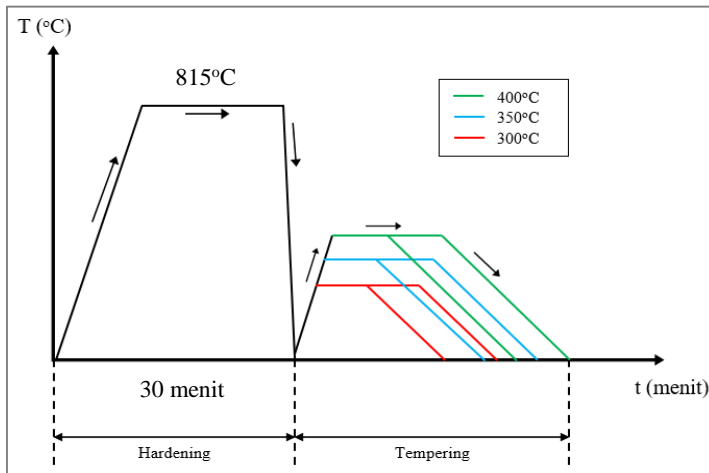
Persiapan ini berupa proses *cutting*, *grinding* maupun *polishing*, termasuk untuk persiapan pengujian komposisi, metalografi, kekerasan, keausan dan XRD.

3.5.3 Pengujian Komposisi

Pengujian komposisi bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia material yang mengalami kegagalan. Identifikasi komposisi kimia menggunakan alat OES (*Optical Emission Spectroscopy*) di PT. Logamindo Sarimulya Sidoarjo.

3.5.4 Perlakuan Panas

Proses perlakuan panas yang dilakukan adalah proses *hardening* dengan temperatur 815°C dengan *holding time* 30 menit dan media *quenching* berupa air tanpa agitasi. Kemudian dilakukan *tempering* dengan dua variabel *holding time*, yaitu 60 dan 120 menit. Pada masing-masing variabel *holding time* tersebut diterapkan tiga variabel temperatur *tempering*, yaitu 300°C, 350°C dan 400°C. Kurva perlakuan panas yang diterapkan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Rancangan kurva perlakuan panas



3.5.5 Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi dilakukan untuk mengetahui struktur mikro dari material sebelum dan setelah diberi perlakuan panas. Pengujian diawali dengan preparasi permukaan spesimen, lalu dilakukan pengetsaan dan observasi struktur mikro dengan mikroskop optik. Pengujian ini dilakukan dengan mengacu pada ASTM E407.

3.5.6 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan dengan melakukan indentasi di beberapa titik pada material. Pengujian ini menggunakan metode Vickers dimana dalam pengujiannya memakai indenter piramid intan, pembebanan sebesar 100 kgf dan indentasi selama 10 detik (ASTM E92). Pengujian kekerasan menggunakan *Universal Hardness Tester* HBRV 187.5A di Laboratorium Metalurgi, Departemen Teknik Material ITS.

3.5.7 Pengujian Keausan

Pengujian keausan dilakukan dengan mesin *pin on disc* dengan memberikan beban tertentu pada spesimen. Sebelum diuji, spesimen diukur massanya. Setelah itu dilakukan pengausan pada *wear track disc* dengan 1000 putaran. Setelah proses berakhir, dilakukan pengukuran massa akhir sehingga didapatkan selisih massa. Pengujian ini mengacu pada standar ASTM G99.

3.5.8 Pengujian XRD

Pengujian ini dilakukan dengan difraksi Sinar-X (XRD) menggunakan alat *Pan Analytical XRD* di Laboratorium Karakterisasi, Departemen Teknik Material ITS. Tujuan dilakukannya pengujian adalah mengetahui struktur kristal dari unsur penyusun untuk mengetahui fasa yang terbentuk, baik secara kualitatif maupun kuantitatif.



3.6 Rancangan Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan beberapa variasi perlakuan dan pengujian pada tiap spesimen yang diteliti. Rincian rancangan pada penelitian ini terdapat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Rancangan Penelitian

Spesimen	Waktu Tahan (menit)	T (°C)	Media Pendingin	Pengujian				
				Komposisi	Metalografi	Kekerasan	Kausan	XRD
TP	-	-	-	√	√	√	√	-
H	30	815	Air	-	√	√	-	-
Ht60t300	60	300	Udara	-	√	√	√	√
Ht60t350	60	350	Udara	-	√	√	√	-
Ht60t400	60	400	Udara	-	√	√	√	-
Ht120t300	120	300	Udara	-	√	√	√	-
Ht120t350	120	350	Udara	-	√	√	√	-
Ht120t400	120	400	Udara	-	√	√	√	√

Keterangan :

- TP = Tanpa Perlakuan
- H = Hardening



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data

4.1.1 Hasil Pengujian Komposisi

Hasil uji komposisi pada poros pompa yang mengalami *failure* dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil pengujian komposisi

Unsur	Kadar (%)		
	Hasil Uji	ASSAB 705	AISI 4340 (ASTM A29)
C	0.4	0.4	0.38-0.43
Mo	0.25	0.25	0.2-0.3
Cr	0.005	0.8	0.7-0.9
Ni	0.003	1.8	1.65-2.0
Mn	0.9	0.7	0.6-0.8
S	0.03	-	0.04 <i>max</i>
Si	0.002	-	0.15-0.35
P	0.03	-	0.035 <i>max</i>
Fe	<i>Balance</i>	<i>Balance</i>	<i>Balance</i>

Dari Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa komposisi material poros pompa tidak sesuai standar ASSAB 705 maupun AISI 4340.

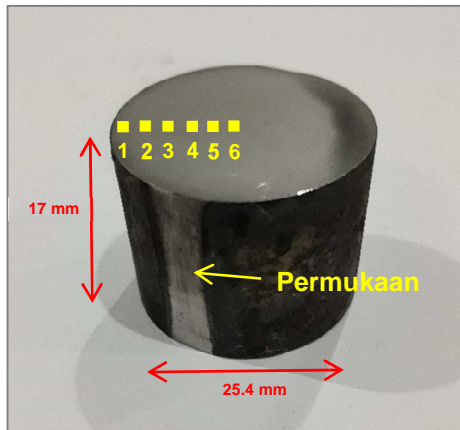
4.1.2 Hasil Pengujian Kekerasan

Uji kekerasan menggunakan metode Vickers dengan pembebanan sebesar 100 kgf dan durasi indentasi 10 detik pada tiap spesimen. Hasil pengujian dan titik uji dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.1-4.3.

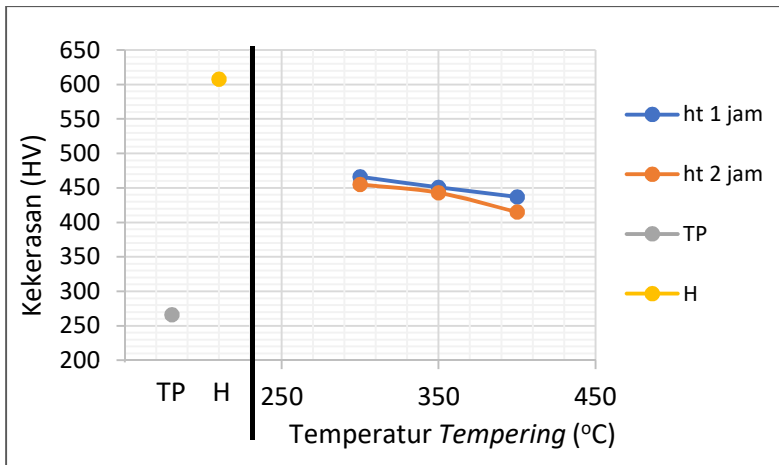


Tabel 4.2 Hasil pengujian kekerasan tiap spesimen

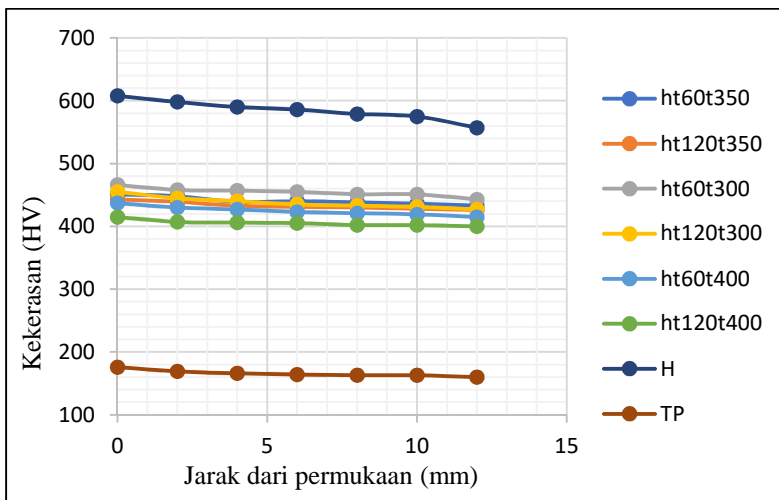
Spesimen	Nilai kekerasan (HV)						
	Permukaan	Titik uji di penampang melintang					
		1	2	3	4	5	6
TP	266	255	253	248	239	224	222
H	608	598	590	586	579	575	557
ht60t300	466	458	457	455	451	451	443
ht120t300	455	445	440	435	433	431	427
ht60t350	451	448	439	440	438	436	433
ht120t350	443	439	433	431	430	428	426
ht60t400	437	430	427	423	421	419	415
ht120t400	415	407	406	405	402	402	400



Gambar 4.1 Titik uji kekerasan spesimen
(jarak tiap titik pada penampang potong = 2 mm)



Gambar 4.2 Grafik hasil uji kekerasan



Gambar 4.3 Grafik distribusi kekerasan pada tiap spesimen

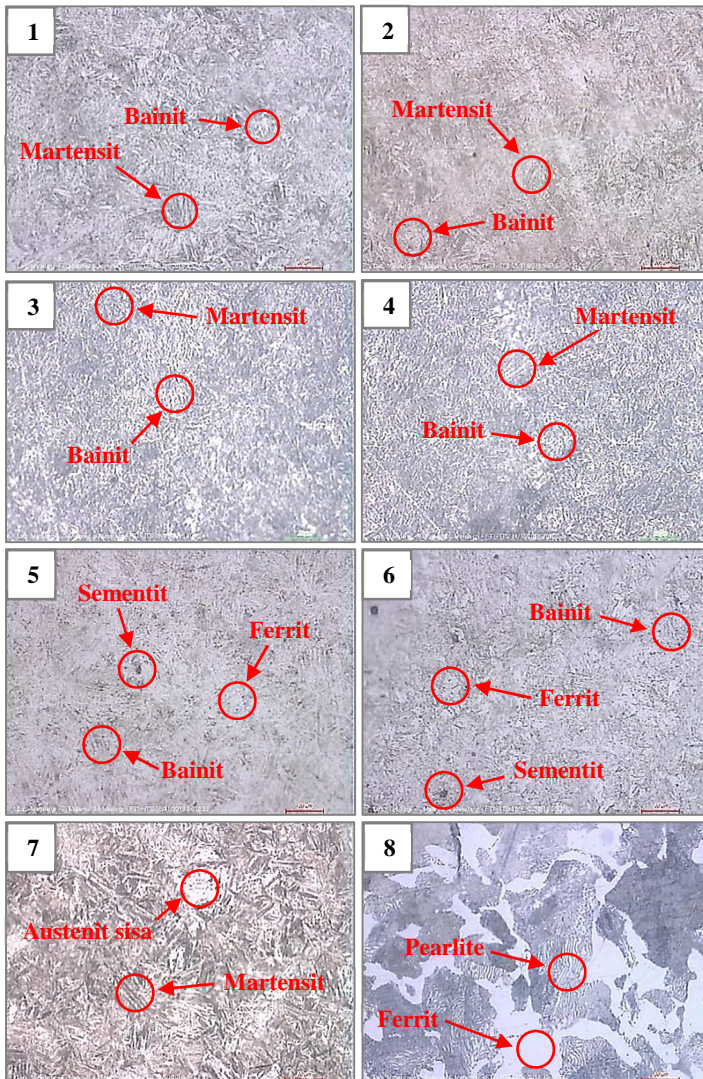
Hasil uji kekerasan menunjukkan bahwa nilai kekerasan spesimen dari yang tertinggi adalah spesimen H, ht60t300, ht120t300, ht60t350, ht120t350, ht60t400, ht120t400 dan yang



terkecil adalah TP. Kekerasan pada potongan melintang tiap spesimen semakin mendekati inti atau sumbu adalah semakin mengecil dengan penurunan yang tidak signifikan.

4.1.3 Hasil Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi telah dilakukan dengan preparasi permukaan spesimen (*grinding* dan *polishing*) lalu pengetsaan (*etching*) dengan pencelupan pada larutan etsa Nital 4% selama 15 detik. Spesimen kemudian diobservasi menggunakan mikroskop optik. Hasil pengujian metalografi dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Hasil uji metalografi dengan perbesaran 500x pada spesimen: (1) ht60t300, (2) ht120t300, (3) ht60t350, (4) ht120t350, (5) ht60t400, (6) ht120t400, (7) H, (8) TP

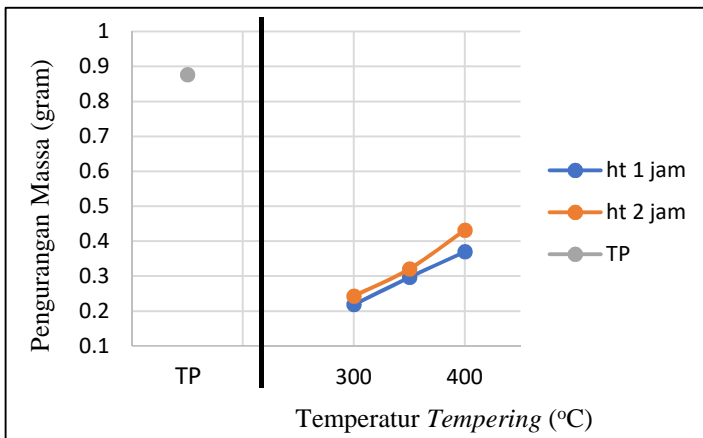


4.1.4 Hasil Pengujian Keausan

Pengujian keausan *pin on disc* dilakukan dengan spesimen sebagai pin, pembebanan 2 kg, 1000 putaran, jarak peletakan pin dari sumbu *disc* sebesar 3,62 cm dan tapak *disc* berupa kertas *abrasive* dengan *grade* 80. Hasil uji keausan dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.5.

Tabel 4.3 Hasil pengujian keausan

Spesimen	Massa (gram)		Pengurangan massa (gram)
	Sebelum uji	Setelah uji	
TP	62.3165	61.4401	0.8764
ht60t300	71.2124	70.9938	0.2186
ht120t300	70.8012	70.5587	0.2425
ht60t350	67.8236	67.5271	0.2965
ht120t350	63.4098	63.0892	0.3206
ht60t400	70.9873	70.6177	0.3696
ht120t400	72.8576	72.4259	0.4317



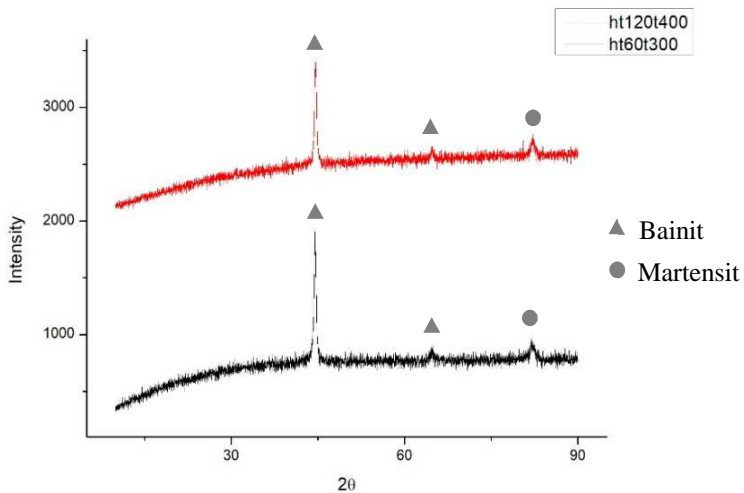
Gambar 4.5 Grafik hasil uji keausan



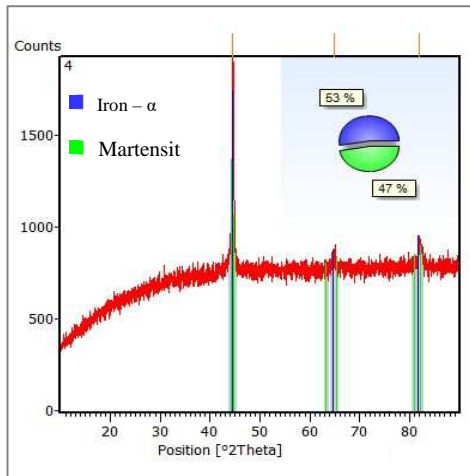
Hasil uji keausan menunjukkan bahwa urutan spesimen dari yang paling tahan aus adalah ht60t300, ht120t300, ht60t350, ht120t350, ht60t400, ht120t400 dan TP.

4.1.5 Hasil Pengujian XRD

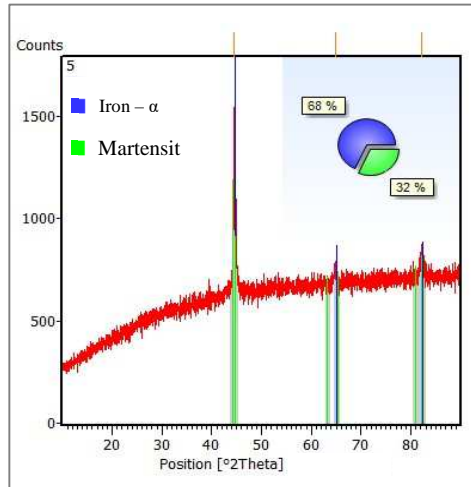
Hasil pengujian XRD pada spesimen hasil *tempering* yang memiliki kekerasan tertinggi (ht60t300) dan kekerasan terendah (ht120t400) dapat dilihat pada Gambar 4.6-4.8.



Gambar 4.6 Analisis kualitatif fasa dari hasil uji XRD



Gambar 4.7 Analisis kuantitatif fasa spesimen ht60t300 dari hasil uji XRD



Gambar 4.8 Analisis kuantitatif fasa spesimen ht120t400 dari hasil uji XRD



Dari hasil uji terbaca *peak* yang mengindikasikan bahwa dalam spesimen yang diberi perlakuan *tempering* setelah *water quench* memiliki struktur BCC (ferrit dan bainit) dan BCT (martensit). Persentase struktur BCC (besi α atau ferrit, dan bainit) pada spesimen ht120t400 lebih tinggi daripada spesimen ht60t300, sedangkan struktur BCT (martensit) pada spesimen ht120t400 lebih rendah daripada spesimen ht60t300.

4.2 Pembahasan

Berdasarkan hasil uji komposisi, diketahui bahwa material yang digunakan sebagai poros pompa tidak sesuai dengan standar. Kadar unsur paduan yang tidak sesuai standar adalah pada nikel (Ni), krom (Cr), silicon (Si) dan mangan (Mn). Unsur-unsur tersebut berperan untuk meningkatkan *hardenability* untuk memperoleh sifat kekerasan dan ketahanan aus. Unsur paduan Ni, Si dan Cr yang terkandung terpaut jauh di bawah standar kadar yang seharusnya. Keberadaan Cr, Si dan Ni yang kurang dari standar berdampak pada *hardenability* yang kurang optimal. Unsur lain yang tidak sesuai adalah Mn, yaitu melebihi standar. Meski kadar Mn melebihi standar, peran unsur ini tidak memberikan dampak yang signifikan untuk kekerasan material, terlebih jika baja tersebut tidak mengalami perlakuan panas untuk mengubah struktur mikronya. Menurut Haryadi (2006), unsur paduan hanya berpengaruh pada fraksi atau jumlah fasa pada struktur mikro baja jika tidak diterapkan perlakuan panas dengan pendinginan non ekuilibrium. Penambahan unsur-unsur yang larut dalam ferrit atau austenit dalam kadar yang kecil menimbulkan perubahan tidak signifikan terhadap struktur mikronya pada temperatur kamar, sehingga sifat mekaniknya pun juga tidak banyak terpengaruh. Fungsi penambahan unsur Mn pada baja ini adalah untuk meningkatkan *hardenability* dan keuletan. Karena komposisi material untuk poros pompa tidak sesuai standar ASSAB maka digunakan material yang sesuai dengan standar



yaitu AISI 4340, yang memiliki kesetaraan dengan ASSAB 705, untuk diberi perlakuan panas dan diteliti perubahan struktur mikro dan sifat mekaniknya.

Gambar 4.4 nomor 7 menunjukkan bahwa pada kondisi *as-quenched* (spesimen H), tampak struktur mikronya adalah martensit (jarum-jarum berwarna gelap) dan austenite sisa (bagian berwarna terang). Jenis martensit yang terbentuk adalah *plate martensite* (jarum-jarum gelap berukuran besar) dan *lath martensite* (jarum-jarum gelap berukuran kecil). Umumnya *plate martensite* terbentuk pada baja dengan kadar karbon di atas 0,6%. Namun keberadaan unsur paduan dalam spesimen ini menyebabkan *plate martensite* dapat ditemui walaupun kadar karbon baja ini adalah 0,4%. *Plate martensite* mengandung lebih banyak karbon dalam strukturnya sehingga bersifat lebih keras dan getas daripada *lath martensite* (Thelning, 2000). Struktur martensit mulai terbentuk saat austenit didinginkan cepat dan mencapai temperatur M_s . Karena pendinginan cepat, karbon bebas yang terlarut di dalam austenit tidak memiliki cukup waktu untuk berdifusi keluar dari kisi kristal austenit sehingga tidak terjadi transformasi FCC (*Face Centered Cubic*) menjadi BCC (*Body Centered Cubic*), melainkan terjadi transformasi geser pada kisi kristal menjadi bentuk struktur BCT (*Body Centered Tetragonal*). Struktur BCT ini sangat tegang, karena itu menjadi keras dan getas. Kekerasan martensit juga bergantung pada kadar karbon yang terkandung pada material. Semakin tinggi kadar karbonnya, maka semakin tinggi pula kekerasan martensitnya. Banyaknya *austenite* yang bertransformasi menjadi *martensite* tidak tergantung pada waktu, tetapi pada temperatur dimana semakin rendah temperturnya makin banyak martensit yang terbentuk pada M_f (Suherman, 2003). Sehingga ketika proses pendinginan terganggu diantara temperatur M_s dan M_f , *retained austenite* dapat terbentuk dikarenakan transformasi dari *austenite* menjadi *martensite* belum selesai sepenuhnya (Charre, 2003).

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



Pada proses pendinginan *austenite*, saat mulai terbentuk *martensite*, laju pembentukan *martensite* ini mula-mula lambat, lalu cepat dan menjadi sangat lambat lagi bila *austenite* hampir habis, sehingga dapat dikatakan *austenite* tidak akan habis, selalu ada *austenite* sisa (*retained austenite*) yang tidak berubah menjadi *martensite*. Baja AISI 4340 merupakan baja paduan, dimana unsur paduan di dalamnya menurunkan temperatur M_s dan M_f . Ketika temperatur M_f terlalu rendah maka pada saat pendinginan cepat memungkinkan terbentuknya *retained austenite*. Adanya *retained austenite* yang bersifat lunak menyebabkan kekerasan yang diperoleh tidak maksimum (Thelning, 2000). Ini sesuai dengan hasil penelitian bahwa struktur mikro spesimen H memiliki martensit (jarum-jarum gelap) baik itu *plate* maupun *lath*, dan austenite sisa (bagian terang). Adanya struktur martensit yang mendominasi ini berakibat pada kekerasan spesimen H yang tinggi, yaitu sebesar 608 HV.

Setelah diberi perlakuan *tempering*, tampak terjadi perubahan. Pada temperatur 300°C terjadi presipitasi karbida epsilon, dan karbon yang terperangkap dalam BCT mulai keluar membentuk karbida, namun karbida ini masih bersifat submicroscopic (Thelning, 2000). Ini menyebabkan jarum-jarum martensit mengecil karena kehilangan banyak karbon. Dari pengamatan mikroskop, martensit tampak lebih hitam. Struktur ini dinamakan *black martensite*. Pada temperatur ini juga austenite sisa ada yang mulai berdekomposisi menjadi bainit, namun belum terlalu stabil (Chadwick, 1989). Perubahan ini dapat dilihat pada Gambar 4.4 nomor 1 dan 2. Gambar nomor 1 adalah struktur mikro spesimen ht60t300. Spesimen ini tampak memiliki struktur martensit yang berukuran lebih kecil daripada spesimen H (*as-quenched*). Hal ini dibuktikan dengan struktur berbentuk jarum-jarum berukuran kecil yang tersebar pada struktur mikronya. Tampak pula bahwa daerah terang, yaitu austenite sisa, berkurang secara signifikan karena austenite sisa juga telah bertransformasi menjadi martensit dan bainit yang berukuran kecil. Spesimen ht120t300 memiliki struktur mikro



yang serupa, namun ukuran jarum-jarum martensitnya lebih kecil lagi dan sudah tidak ditemukan bagian terang yaitu austenite sisa. Ini dikarenakan waktu tahan yang digunakan lebih lama sehingga proses dekomposisi martensit dan transformasi austenite sisa memiliki cukup waktu untuk menimbulkan perubahan yang lebih signifikan. Perubahan-perubahan yang terjadi akibat *tempering* tersebut menyebabkan nilai kekerasan tidak setinggi spesimen H. Kekerasan spesimen ht60t300 sebesar 466 HV sedangkan spesimen ht120t300, yang mengalami waktu tahan lebih lama, kekerasannya lebih rendah yaitu 455 HV. Nilai kekerasan ini berdampak pada ketahanan aus. Spesimen ht60t300 lebih tahan aus, dengan pengurangan massa akibat uji aus sebesar 0,2146 gram. Sedangkan spesimen ht120t300 yang lebih lunak sebesar 0,2425 gram.

Ketika temperatur *tempering* yang diterapkan lebih tinggi, hasil yang diperoleh pun berbeda karena proses pelunakan dapat mencapai tahap yang lebih lanjut. Martensit semakin mengecil dan bahkan tidak lagi tampak bentuk jarum-jarum martensit yang nyata. Artinya hampir seluruh struktur BCT berubah menjadi bentuk yang lebih stabil yaitu BCC atau bisa dibilang menjadi ferrit. Karbon yang berdifusi keluar dari martensit membentuk platelet-platelet sementit dalam matriks ferrit. Struktur ini disebut dengan bainit. Bainit yang terbentuk adalah *lower bainite* mengingat temperatur yang digunakan adalah pada kisaran pembentukan *lower bainite*. Perubahan ini dapat dilihat pada Gambar 4.4 nomor 3 dan 4. Pada gambar 4, struktur martensit sudah sangat kecil dan tidak lagi tampak signifikan. Platelet-platelet sementit yang terdispersi dalam bagian terang yaitu ferrit tampak lebih banyak. Artinya struktur bainit yang terbentuk lebih banyak. Fenomena ini mengakibatkan spesimen ht60t350 memiliki kekerasan 451 HV dan spesimen ht120t350 memiliki kekerasan yang lebih rendah yaitu 443 HV. Waktu tahan yang lebih lama menyebabkan proses pelunakan mencapai tahap yang lebih jauh sehingga material menjadi lebih

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



lunak. Nilai kekerasan berdampak pada sifat ketahanan ausnya. Spesimen ht60t350 lebih tahan aus, dengan pengurangan massa akibat uji aus sebesar 0,2965 gram, sedangkan spesimen ht120t350 sebesar 0,3206 gram.

Perbedaan struktur kembali ditemui pada spesimen yang diberi perlakuan *tempering* dengan temperatur yang lebih tinggi. Pada Gambar 4.4 nomor 5 dan 6 tampak bahwa perubahan yang terjadi lebih jauh lagi. Karbon yang berdifusi keluar dan membentuk sementit berkumpul menjadi bulatan-bulatan atau *spheroid* sementit. *Spheroid* ini muncul dan tumbuh di dalam matriks ferrit yang juga tumbuh membesar. Tidak lagi ditemui jarum-jarum martensit. Struktur bainit masih tampak karena belum seluruh platelet sementit berkumpul menjadi *spheroid*, namun bainit sudah menjadi lebih halus. Pada gambar nomor 6 tampak bahwa *spheroid* sementit yang terbentuk lebih banyak dan beberapa diantaranya sudah tampak membesar. Ini dikarenakan waktu tahan yang lebih lama memberi cukup waktu bagi karbon untuk membentuk lebih banyak sementit dan tumbuh menjadi *spheroid* yang lebih besar. Sebagaimana menurut Doloksaribu (2018), bahwa perlakuan panas *tempering* menyebabkan presipitasi sementit di antara ferrit. Semakin tinggi temperatur *tempering* maka semakin banyak presipitasi sementit. Perubahan struktur mikro ini berdampak pada kekerasan dan ketahanan aus material. Spesimen ht60t400 dengan kekerasan 437 HV lebih tahan aus dengan pengurangan massa akibat uji aus sebesar 0,3696 gram, sedangkan spesimen ht120t400 dengan kekerasan 415 HV sebesar 0,4317 gram. Lunaknya spesimen ht120t400 adalah akibat waktu tahan yang digunakan lebih lama daripada untuk spesimen ht60t400 sehingga proses pelunakan memiliki lebih banyak waktu untuk berlangsung.

Gambar 4.4 nomor 8 menunjukkan bahwa spesimen TP memiliki struktur ferrite (berwarna terang) dan pearlit (berwarna gelap dan *lamellar*). Ini menandakan bahwa spesimen TP tidak



mengalami perlakuan panas dengan pendinginan non ekuilibrium sebelumnya. Ferrit dan pearlit ini terbentuk akibat pendinginan lambat yang menyebabkan austenite bertransformasi secara ekuilibrium. Spesimen yang digunakan tergolong baja *hypoeutectoid*. Berdasarkan diagram fasa Fe-Fe₃C, pada baja *hypoeutectoid*, austenite terlebih dahulu bertransformasi membentuk ferrit proeutektoid. kemudian saat melalui garis A₁, austenit mengalami reaksi *eutectoid* membentuk lapisan sementit dan ferrit yang berselang-seling yang disebut sebagai pearlite. Sehingga pada temperatur kamar diperoleh struktur mikro berupa ferrit dan pearlit (Suherman, 2003). Struktur inilah yang menyebabkan kekerasan spesimen TP paling rendah, yaitu sebesar 266 HV. Lunaknya spesimen ini juga berakibat pada ketahanan ausnya yang paling rendah. Pengurangan massanya akibat uji keausan adalah sebesar 0,8764 gram.

Secara garis besar, hasil yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan bahwa semakin besar temperatur *tempering* maka semakin signifikan perubahan struktur mikro (dekomposisi martensit) yang terjadi yang berakibat semakin rendahnya nilai kekerasan (semakin lunak). Tidak hanya itu, semakin lama waktu tahan juga menyebabkan kekerasan semakin menurun. Pengaruh proses *tempering* adalah hilangnya sebagian tetragonalitas dari martensit, presipitasi besi karbida dan dekomposisi austenit sisa menjadi ferrit dan sementit (Hamzah, 2008). Hal ini terjadi karena semakin tinggi temperatur *tempering* maka semakin banyak ferrit yang terbentuk. Jumlah ferrit yang semakin banyak berakibat menurunnya kekerasan (Doloksaribu, 2018). Untuk menunjang hasil penelitian, dilakukan pula pengujian menggunakan sinar X, atau disebut XRD (*X-Ray Diffraction*). Sinar X yang dipancarkan alat uji XRD menumbuk atom-atom Fe pada baja yang tersusun dalam tatanan struktur kristal tertentu. Bependarnya sinar akibat menumbuk atom-atom inilah yang kemudian dibaca oleh sensor untuk mengetahui struktur kristal dari spesimen yang diuji. Struktur kristal tersebut dapat menyatakan fasa dari baja yang

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



diuji, baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Hasil pengujian XRD menunjukkan bahwa struktur kristal yang terbentuk adalah BCT dan BCC dimana untuk temperatur yang lebih tinggi, persentase struktur BCT (menyatakan fasa martensit) berkurang seiring struktur BCC (menyatakan fasa ferrit dan bainit) yang bertambah. Inilah yang menyebabkan terjadinya penurunan kekerasan akibat kenaikan temperatur dan waktu tahan. Penurunan kekerasan ini berakibat pada menurunnya ketahanan aus material. Pada *abrasive wear*, kekerasan adalah sifat yang paling penting untuk meningkatkan kemampuan suatu baja terhadap ketahanan aus dikarenakan goresan. Makin keras material tersebut, makin sulit media abrasif untuk melakukan penetrasi dan menggores material tersebut (Ratia, 2015).



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Kegagalan material poros pompa disebabkan oleh komposisi dan sifat mekanik yang tidak memenuhi standar poros (ASTM A291).
2. Semakin tinggi temperatur dan semakin lama waktu tahanan *tempering* yang diterapkan, baja ASSAB 705 semakin lunak. Secara berurutan, kekerasan dan ketahanan aus spesimen hasil *tempering* dari yang tertinggi adalah ht60t300, ht120t300, ht60t350, ht120t350, ht60t400 dan ht120t400.

5.2 Saran

1. Pada saat melakukan pembelian komponen poros pompa, sebaiknya disertai dengan sertifikat komposisi kimia dan sifat mekanik yang sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.
2. Sebaiknya dilakukan *Non Destructive Test* berkala pada komponen poros pompa.
3. Proses perlakuan panas sebaiknya menggunakan *furnace* dengan akurasi temperatur yang baik.
4. Media pendingin lebih baik menggunakan oli sehingga mengurangi kemungkinan terbentuknya *crack* akibat *quenching*.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- _____. 1991. **ASM Handbook Volume 4: Heat Treatment.** USA: ASM International.
- _____. 2003. **ASTM A291 Standard Specification for Steel Forgings, Carbon and Alloy, for Pinions, Gears and Shafts for Reduction Gears.** USA: ASTM International.
- _____. 2015. **ASTM A29 Standard Specification for General Requirements for Steel Bars, Carbon and Alloy, Hot-Wrought.** USA: ASTM International.
- _____. 2018. **ASSAB 705.** Swedia: ASSAB UDDEHOLM.
- Adnyana, D. N. 2016. **Metallurgical Assesment of A Broken Gearbox Intermediate Shaft of A Reciprocating Compressor.** Jakarta: Institut Sains dan Teknologi Nasional.
- Alexander, Sriatie Djaprie, 1990. **Dasar Metalurgi untuk Rekayasawan.** Jakarta: Gramedia.
- Avner, Sidney H. 1974. **Introduction to Physical Metallurgy.** Singapore: McGraw-Hill Book Co.
- Callister Jr, William D. 2009. **Materials Science And Engineering An Introduction, 8th Edition.** New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, Hoboken
- Campbell, F.C. 2008. **Elements of Metallurgy and Engineering.** New York: ASM International.
- Chadwick, G.A. 1989. **Metallography of Phase Transformation – fifth edition.** London: Butterworths.


- Charre, Madeleine D. 2004. **Microstructure of Steels and Cast Irons**. Jerman: Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- Dieter, George E. 1987. **Metalurgi Mekanik**. Jakarta: Erlangga.
- Djaprie, Sriatie. 1990. **Teknologi Mekanik**. Jakarta: Erlangga.
- Doloksaribu, Martin dkk. 2018. **Pengaruh Temperatur dan Waktu Tahan Proses Perlakuan Panas Temper Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Permukaan Rim Roda Kereta Api Prototipe Hasil Pengerasan Induksi**. Bandung: Metal Indonesia.
- Hamzah, Muhammad Sadat. 2008. **Peningkatan Ketahanan Aus Baja Karbon Rendah dengan Metode Carburizing**. Palu: Universitas Tadulako.
- Haryadi, Gunawan Dwi. 2006. **Pengaruh Suhu Tempering terhadap Kekerasan, Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro pada Baja K-460**. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Nurhadyan, Galih. 2011. **Analisis Kegagalan Shaft Stainless Steel 17-4 PH pada Pompa Sentrifugal 107-JC di Pabrik 1 Plant Amonia PT. Petrokimia Gresik**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Ratia, V. 2015. **Behavior of Martensitic Wear Resistant Steels in Abrasion and Impact Wear Testing Conditions**. Tampere: Tampere University of Technology.
- Suherman, Wahid. 1999. **Ilmu Logam II**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Suherman, Wahid. 2003. **Ilmu Logam I**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Suherman, Wahid. 2011. **Perlakuan Panas**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Sumarno, Gatot. 2015. **Kinerja Multistage Hp/Ip Feed Water Pump pada HRSG di Sektor Pembangkitan PLTGU Cilegon**. Semarang: Politeknik Negeri Semarang.
- Syahri, Budi. 2017. **Analisis Kekerasan Baja Assab 705 yang Diberi Perlakuan Panas Hardening dan Media Pendingin**. Padang: Universitas Negeri Padang.
- Thelning, Karl-Erik. 2000. **Steel and Its Heat Treatment**. Delhi: Replika Press Pvt Ltd.
- Totten, GE, Bates, CE, Clinton. 1993. **Handbook of Quenchant and Quenching Technology**. USA: ASM International.
- Yani, Rina Dwi ; Pratomo, Tri ; Cahyono, Hendro. 2008. **Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Struktur Mikro Logam ST 60**. Pontianak: Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Pontianak.
- Yogantoro, Anom. 2010. **Penelitian Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan Low Tempering, dan High Tempering pada Medium Carbon Steel Produksi Pengecoran Batur-Klaten Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Ketangguhan (Toughness)**. Surakarta: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.


(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

1. Hasil Uji Komposisi



PT. LOGAMINDO SARIMULIA
IRON AND STEEL FOUNDRY
Telp : (62-31) 8544540 - 41 Fax : (62-31) 8544542
E-mail : lisafoundry@gmail.com
www.logamindosarimulia.com



Method: Fe-10-F IARM 200C
Comment: Low alloy Steel
Sample Name: ASSAB
Quality:

10/11/2018 3:03:40 PM

Element concentration


	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.416	0.275	0.951	0.0322	0.0343	0.0059	< 0.0020	0.0034
2	0.400	0.272	0.936	0.0309	0.0321	0.0057	< 0.0020	0.0039
3	0.398	0.273	0.932	0.0315	0.0296	0.0050	< 0.0020	0.0035
< x > (3)	0.405	0.273	0.940	0.0315	0.0320	0.0056	< 0.0020	0.0036
sd	0.0096	0.0014	0.0103	0.00065	0.0023	0.00047	0.00000	0.00024
rsd	2.4	0.5	1.1	2.1	7.3	8.4	0.0	6.8

	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.0700	< 0.0015	0.0031	< 0.0010	0.0017	0.00072	< 0.0100	< 0.0030
2	0.0700	0.0016	0.0031	< 0.0010	0.0016	0.00092	< 0.0100	< 0.0030
3	0.0700	0.0018	0.0032	< 0.0010	0.0018	0.00068	< 0.0100	< 0.0030
< x > (3)	0.0700	0.0016	0.0031	< 0.0010	0.0017	0.00077	< 0.0100	< 0.0030
sd	0.00003	0.00015	0.00005	0.00000	0.00008	0.00013	0.00000	0.00000
rsd	0.0	8.9	1.6	0.0	4.6	17.1	0.0	0.0

	Sn	As	Zr	Bi	Ca	Ce	B	Zn
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.0023	0.0093	< 0.0015	< 0.0040	0.00062	< 0.0030	0.00047	< 0.0020
2	0.0022	0.0104	< 0.0015	< 0.0040	0.00037	< 0.0030	0.00048	< 0.0020
3	0.0020	0.0097	< 0.0015	< 0.0040	0.00066	< 0.0030	0.00053	< 0.0020
< x > (3)	0.0022	0.0098	< 0.0015	< 0.0040	0.00055	< 0.0030	0.00049	< 0.0020
sd	0.00001	0.00053	0.00000	0.00000	0.00016	0.00000	0.00003	0.00000
rsd	7.8	5.4	0.0	0.0	28.2	0.0	5.8	0.0

	La	Fe	Sb	Te				
	%	%	%	%				
1	< 0.0010	98.2	< 0.0010	0.0014				
2	< 0.0010	98.2	< 0.0010	0.0021				
3	< 0.0010	98.2	< 0.0010	0.0021				
< x > (3)	< 0.0010	98.2	< 0.0010	0.0019				
sd	0.00000	0.0231	0.00000	0.00040				
rsd	0.0	0.0	0.0	21.1				

Tanda tangan



2. Standard ASSAB

GENERAL

ASSAB 705 is machinery steel with unique machinability. ASSAB 705 is supplied as quenched and tempered that enhances hardness and toughness distribution.

Typical analysis %	C	Mn	Cr	Ni	Mo
	0.40	0.70	0.80	1.80	0.25
Reference standard	AISI 4340, DIN 34CrNiMo6, Wzr. 1.6582, BS EN24, AFNOR 35NCD6, JIS SNCM 439				
Delivery condition	Quenched and tempered to 293-352HB				

APPLICATIONS

ASSAB 705 is an alloyed machinery steel with good hardenability also in large cross sections. It combines high strength with best toughness.

ASSAB 705 is intended for use in the as-delivered condition, requiring no further heat treatment. However, it can be oil, water or polymer hardened to higher hardness and higher mechanical properties if required. ASSAB 705 is suitable for induction hardening and can also be nitrided or tufrided to a surface hardness of 600-650 Vickers.

ASSAB 705 is not suitable for welding but can be repair welded when certain precautions are taken.

Typical applications include high strength machine parts, spindles, high strength bolts and studs, gears, axle shaft, crankshafts, connecting rods, arbors etc.

PROPERTIES

MECHANICAL DATA

QUENCHED AND TEMPERED

Mechanical Properties	Typical values under supplied condition
Yield strength, $R_p 0.2$, N/mm ²	≥ 850
Tensile strength, N/mm ²	≥ 980
Elongation, A_5 , %	≥ 14
Reduction of area, Z, %	≥ 45
Impact strength (Charpy-V at -23°C), J/cm ²	≥ 55



Components (main shafts) for palm oil extract



Car components

HEAT TREATMENT

Heat treatment for pre-hardened condition:

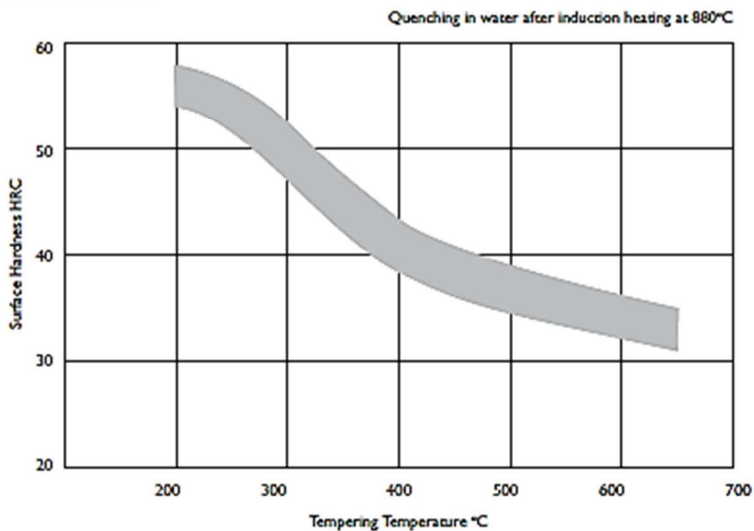
Hardened at 880-935°C

Tempered at 600-670°C

Quench media: 100% water

ASSAB 705 can be re-hardened by oil, polymer or water to higher hardness. The following tempering diagram is achieved by induction heating followed by water quenching process.

Tempering diagram



3. XRD Peak list BCT (martensit)

Name and formula

Reference code: 00-044-1290

Compound name: Carbon Iron

Common name: martensite

PDF index name: Carbon Iron

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	1	2.04820	44.183	100.0
2	1	1	0	2.02130	44.803	49.0
3	0	0	2	1.46830	63.285	7.0
4	2	0	0	1.42930	65.222	12.0
5	1	1	2	1.18800	80.842	11.0
6	2	1	1	1.17220	82.164	20.0
7	2	0	2	1.02420	97.545	6.0
8	2	2	0	1.01070	99.307	3.0
9	1	0	3	0.92620	112.543	5.0
10	3	0	1	0.90640	116.390	5.0
11	3	1	0	0.90410	116.861	7.0
12	2	2	2	0.83260	135.389	4.0
13	2	1	3	0.77730	164.610	10.0

4. XRD *Peak list* BCC (ferrit)

Name and formula

Reference code: 01-087-0721

Mineral name: Iron

Compound name: Iron

Common name: Iron - alpha

ICSD name: Iron

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	0	2.02671	44.677	100.0
2	2	0	0	1.43310	65.028	11.5
3	2	1	1	1.17012	82.342	17.4

5. ASTM A29



A29/A29M – 15

TABLE 2 Grade Designations and Chemical Compositions of Alloy Steel Bars

Note 1—Small quantities of certain elements are present in alloy steels, which are not specified or required. These elements are considered as incidental and may be present to the following maximum amounts: copper, 0.35 %; nickel, 0.25 %; chromium, 0.20 % and molybdenum, 0.06 %.

Note 2—Where minimum and maximum sulfur content is shown it is indicative of resulfurized steel.

Note 3—The chemical ranges and limits shown in Table 2 are produced to product analysis tolerances shown in Table 6.

Note 4—Standard alloy steels can be produced with a lead range of 0.15–0.35 %. Such steels are identified by inserting the letter “L” between the second and third numerals of the AISI number, for example, 41 L 40. A cast or heat analysis is not determinable when lead is added to the ladle stream.

Grade Designation	Heat Chemical Ranges and Limits, %							
	Carbon	Manganese	Phosphorus, max	Sulfur, max	Silicon ^a	Nickel	Chromium	Molybdenum
1330	0.29–0.33	1.60–1.90	0.035	0.040	0.15–0.35	...	...	...
1335	0.33–0.38	1.60–1.90	0.035	0.040	0.15–0.35	...	...	...
1340	0.39–0.43	1.60–1.90	0.035	0.040	0.15–0.35	...	...	...
1345	0.43–0.48	1.60–1.90	0.035	0.040	0.15–0.35	...	...	...
4012	0.09–0.14	0.75–1.00	0.035	0.040	0.15–0.35	...	...	0.15–0.25
4023	0.20–0.25	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15–0.35	...	...	0.20–0.30
4024	0.20–0.25	0.70–0.90	0.035	0.035–0.050	0.15–0.35	...	...	0.20–0.30
4027	0.25–0.30	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15–0.35	...	...	0.20–0.30
4028	0.25–0.30	0.70–0.90	0.035	0.035–0.050	0.15–0.35	...	...	0.20–0.30
4032	0.30–0.35	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15–0.35	...	...	0.20–0.30
4037	0.35–0.40	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15–0.35	...	...	0.20–0.30
4042	0.40–0.45	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15–0.35	...	...	0.20–0.30
4047	0.45–0.50	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15–0.35	...	...	0.20–0.30
4118	0.19–0.23	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15–0.35	...	0.40–0.60	0.08–0.15
4120	0.19–0.23	0.90–1.20	0.035	0.040	0.15–0.35	...	0.40–0.60	0.13–0.20
4121	0.19–0.23	0.75–1.00	0.035	0.040	0.15–0.35	...	0.45–0.65	0.20–0.30
4130	0.29–0.33	0.40–0.60	0.035	0.040	0.15–0.35	...	0.80–1.10	0.15–0.25
4135	0.33–0.38	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15–0.35	...	0.80–1.10	0.15–0.25
4137	0.35–0.40	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15–0.35	...	0.80–1.10	0.15–0.25
4140	0.39–0.43	0.75–1.00	0.035	0.040	0.15–0.35	...	0.80–1.10	0.15–0.25
4142	0.40–0.45	0.75–1.00	0.035	0.040	0.15–0.35	...	0.80–1.10	0.15–0.25
4145	0.43–0.48	0.75–1.00	0.035	0.040	0.15–0.35	...	0.80–1.10	0.15–0.25
4147	0.45–0.50	0.75–1.00	0.035	0.040	0.15–0.35	...	0.80–1.10	0.15–0.25
4150	0.49–0.53	0.75–1.00	0.035	0.040	0.15–0.35	...	0.80–1.10	0.15–0.25
4161	0.56–0.64	0.75–1.00	0.035	0.040	0.15–0.35	...	0.70–0.90	0.25–0.35
4320	0.17–0.22	0.45–0.65	0.035	0.040	0.15–0.35	1.65–2.00	0.40–0.60	0.20–0.30
4340	0.39–0.43	0.60–0.80	0.035	0.040	0.15–0.35	1.65–2.00	0.70–0.90	0.20–0.30
E4340	0.39–0.43	0.65–0.85	0.025	0.025	0.15–0.35	1.65–2.00	0.70–0.90	0.20–0.30
4419	0.19–0.23	0.45–0.65	0.035	0.040	0.15–0.35	...	...	0.45–0.60
4422	0.20–0.25	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15–0.35	...	...	0.35–0.45
4427	0.24–0.29	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15–0.35	...	...	0.35–0.45
4615	0.13–0.18	0.45–0.65	0.035	0.040	0.15–0.35	1.65–2.00	...	0.20–0.30
4620	0.17–0.22	0.45–0.65	0.035	0.040	0.15–0.35	1.65–2.00	...	0.20–0.30
4621	0.19–0.23	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15–0.35	1.65–2.00	...	0.20–0.30
4626	0.24–0.29	0.45–0.65	0.035	0.040	0.15–0.35	0.70–1.00	...	0.15–0.25
4715	0.13–0.18	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15–0.35	0.70–1.00	0.45–0.65	0.45–0.60
4718	0.16–0.21	0.70–0.90	0.035	0.040	0.15–0.35	0.90–1.20	0.35–0.55	0.30–0.40
4720	0.17–0.22	0.50–0.70	0.035	0.040	0.15–0.35	0.90–1.20	0.35–0.55	0.15–0.25
4915	0.13–0.18	0.40–0.60	0.035	0.040	0.15–0.35	3.25–3.75	...	0.20–0.30
4917	0.15–0.20	0.40–0.60	0.035	0.040	0.15–0.35	3.25–3.75	...	0.20–0.30
4920	0.19–0.23	0.50–0.70	0.035	0.040	0.15–0.35	3.25–3.75	...	0.20–0.30

6. ASTM A291

TABLE 1 Chemical Requirements

Element	Composition, %						
	Grade 1	Grade 2	Grade 3	Grade 3A	Grades 4 to 7 Classes E, F, G, and H	Grade 8	Grade 9
	Class A	Class B	Class C	Class D		Class I	Class J
Carbon	0.55 max	0.50 max	0.45 max	0.45 max	0.35–0.50	0.38–0.45	0.25–0.39
Manganese	0.60–0.90	0.40–0.90	0.40–0.90	0.40–0.90	0.40–0.90	0.40–0.70	0.20–0.60
Phosphorus, max	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.015
Sulfur, max	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.015
Silicon ^A , max	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.40	0.35
Nickel	0.30 max	^B	0.50 max	1.00–3.00	1.65 min	0.30 max	3.25–4.00
Chromium	0.25 max	^B	1.25 max	1.50 max	0.60 min	1.40–1.80	1.25–1.75
Molybdenum	0.10 max	^B	0.15 min	0.15 min	0.20–0.60	0.30–0.45	0.30–0.70
Vanadium, max	0.06	0.10	0.05	0.10	0.10	0.03	0.05–0.15
Copper, max	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Aluminum	...	...	...	...	...	0.65–1.30	...

^A When vacuum carbon deoxidation is used, silicon maximum shall be 0.10 %.

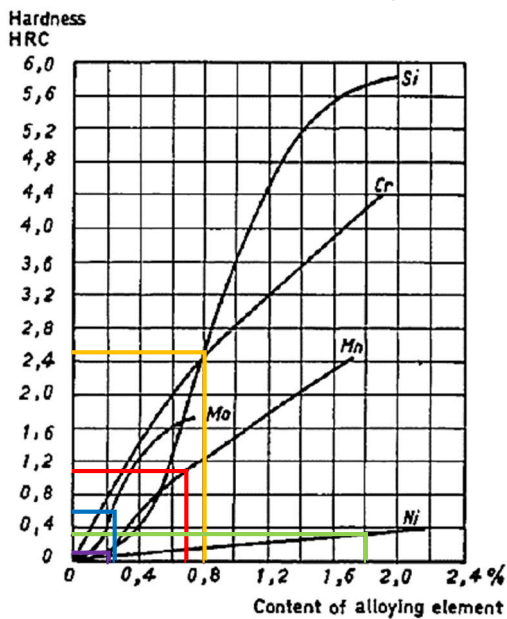
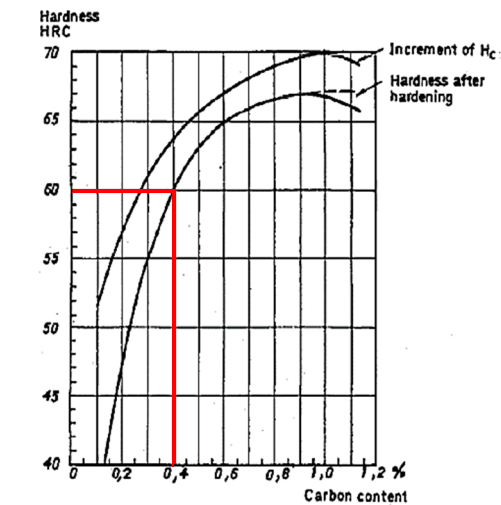
^B Optional with manufacturer and purchaser.

TABLE 2 Mechanical Properties

Grade	Class	Size, Solid Diameter or Thickness, in. ^A		Tensile Strength, min		Yield Strength, 0.2% Offset, min		Elongation in 2 in. [50 mm], min, %		Reduction of Area, min, %		Charpy V-notch Fib [J]	Brinell Hardness Number Range
		Over	Not Over	ksi	[MPa]	ksi	[MPa]	Longi- tudinal	Transverse (Tangential)	Longi- tudinal	Transverse (Tangential)		
1	A	...	10	85	[585]	50	[345]	22	...	45	...	...	170 - 223
2	B	10	...	80	[550]	45	[310]	20	16	37	30	...	201 - 241
		...	10	95	[655]	70	[485]	20	...	45	...	...	...
		10	20	95	[655]	70	[485]	20	18	45	34	...	...
3, 3A	C, D	20	...	95	[655]	70	[485]	18	16	38	30	...	...
		...	10	105	[725]	80	[550]	19	...	45	...	...	223 - 262
		10	20	105	[725]	80	[550]	19	16	45	32	...	...
4	E	20	...	105	[725]	80	[550]	18	14	38	30	...	...
		...	10	120	[825]	95	[655]	16	...	40	...	...	248 - 293
		10	20	120	[825]	95	[655]	14	12	35	30	...	...
5	F	20	...	115	[795]	90	[620]	13	10	33	25	...	...
		...	10	140	[965]	115	[795]	16	...	40	...	...	285 - 331
		10	20	135	[930]	110	[760]	14	12	35	30	...	...
6	G	20	...	130	[905]	105	[725]	12	10	30	25	...	...
		...	10	145	[1000]	120	[825]	15	...	40	...	...	302 - 352
		10	20	140	[965]	115	[795]	14	12	35	30	...	...
7	H	20	...	135	[930]	110	[760]	12	10	30	25	...	...
		...	10	170	[1375]	140	[960]	14	...	35	...	...	341 - 415
		10	20	165	[1140]	135	[930]	12	10	30	25	...	...
8	I	20	...	160	[1105]	130	[905]	10	10	25	25	...	...
		...	10	120	[825]	85	[585]	15	...	40	...	...	255 - 302
		9	J	20	...	170	[1175]	140	[960]	10	10	30	30	25 [30]	352 - 401

^A 10 in. = 250 mm. 20 in. = 500 mm.

7. Perhitungan Kekerasan Hasil *Tempering*



Dari diagram diperoleh nilai H_c :

$$H_c = 60 + 1.1 + 2.5 + 0.35 + 0.6 + 0.15 = 64.7 \text{ HRC}$$

➤ **Ht60t300** ($T = 300 + 273 = 573$ Kelvin ; $t = 1$ jam)

- $P = T(k + \log t)$
 $P = 573 (20 + \log 1) = 11460$
 $11460 = T(20 + \log 4)$
 $T = 556.26 \text{ Kelvin} = 283.26^\circ\text{C}$
- $T = 16.67(H_c - H_a) - 17.8$
 $283.26 = 16.67(64.7 - H_a) - 17.8$
 $H_a = 46.64 \text{ HRC} = \mathbf{466.32 HV}$

➤ **Ht120t300** ($T = 300 + 273 = 573$ Kelvin ; $t = 2$ jam)

- $P = T(k + \log t)$
 $P = 573 (20 + \log 2) = 11632.49$
 $11632.49 = T(20 + \log 4)$
 $T = 564.63 \text{ Kelvin} = 291.63^\circ\text{C}$
- $T = 16.67(H_c - H_a) - 17.8$
 $291.63 = 16.67(64.7 - H_a) - 17.8$
 $H_a = 46.14 \text{ HRC} = \mathbf{459.79 HV}$

➤ **Ht60t350** ($T = 350 + 273 = 623$ Kelvin ; $t = 1$ jam)

- $P = T(k + \log t)$
 $P = 623 (20 + \log 1) = 12460$
 $12460 = T(20 + \log 4)$
 $T = 604.796 \text{ Kelvin} = 331.796^\circ\text{C}$
- $T = 16.67(H_c - H_a) - 17.8$
 $331.796 = 16.67(64.7 - H_a) - 17.8$
 $H_a = 43.728 \text{ HRC} = \mathbf{431.01 HV}$

➤ **Ht120t350** ($T = 350 + 273 = 623$ Kelvin ; $t = 2$ jam)

- $P = T(k + \log t)$

$$P = 623 (20 + \log 2) = 12647.54$$

$$12647.54 = T(20 + \log 4)$$

$$T = 613.899 \text{ Kelvin} = 340.899^\circ\text{C}$$

- $T = 16.67(H_c - H_a) - 17.8$
 $340.899 = 16.67(64.7 - H_a) - 17.8$
 $H_a = 43.182 \text{ HRC} = \mathbf{425 HV}$

➤ **Ht60t400** ($T = 400 + 273 = 673 \text{ Kelvin}$; $t = 1 \text{ jam}$)

- $P = T(k + \log t)$
 $P = 673 (20 + \log 1) = 13460$
 $13460 = T(20 + \log 4)$
 $T = 653.34 \text{ Kelvin} = 380.34^\circ\text{C}$
- $T = 16.67(H_c - H_a) - 17.8$
 $380.34 = 16.67(64.7 - H_a) - 17.8$
 $H_a = 40.817 \text{ HRC} = \mathbf{400.17 HV}$

➤ **Ht120t400** ($T = 400 + 273 = 673 \text{ Kelvin}$; $t = 2 \text{ jam}$)

- $P = T(k + \log t)$
 $P = 673 (20 + \log 2) = 13662.59$
 $13662.59 = T(20 + \log 4)$
 $T = 663.17 \text{ Kelvin} = 390.17^\circ\text{C}$
- $T = 16.67(H_c - H_a) - 17.8$
 $390.17 = 16.67(64.7 - H_a) - 17.8$
 $H_a = 40.227 \text{ HRC} = \mathbf{394.27 HV}$

8. Perhitungan Error Kekerasan Hasil *Tempering*

$$Error = \left| \frac{\text{Kekerasan perhitungan} - \text{Kekerasan uji}}{\text{Kekerasan perhitungan}} \right| \times 100\%$$

➤ Ht60t300

$$Error = \left| \frac{466.32 \text{ HV} - 466 \text{ HV}}{466.32 \text{ HV}} \right| \times 100\% = \mathbf{0.07\%}$$

➤ Ht120t300

$$Error = \left| \frac{459.79 \text{ HV} - 455 \text{ HV}}{459.79 \text{ HV}} \right| \times 100\% = \mathbf{1.04\%}$$

➤ Ht60t350

$$Error = \left| \frac{431.01 \text{ HV} - 451 \text{ HV}}{431.01 \text{ HV}} \right| \times 100\% = \mathbf{4.64\%}$$

➤ Ht120t350

$$Error = \left| \frac{425 \text{ HV} - 443 \text{ HV}}{425 \text{ HV}} \right| \times 100\% = \mathbf{4.24\%}$$

➤ Ht60t400

$$Error = \left| \frac{400.17 \text{ HV} - 437 \text{ HV}}{400.17 \text{ HV}} \right| \times 100\% = \mathbf{9.20\%}$$

➤ Ht120t400

$$Error = \left| \frac{394.27 \text{ HV} - 415 \text{ HV}}{394.27 \text{ HV}} \right| \times 100\% = \mathbf{5.26\%}$$

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

UCAPAN TERIMA KASIH

Selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini, penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Allah SWT berkat lindungan dan pertolongan-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir.
2. Rasulullah Muhammad SAW atas ajaran dan syafa'atnya yang membawa umat manusia keluar dari zaman jahiliyah.
3. Kedua orang tua dan kedua adik penulis yang telah menjadi sumber motivasi dalam pembuatan laporan ini, serta telah mendukung secara moril maupun materil, dan doa yang selalu dipanjatkan demi kesehatan, keselamatan, dan kelancaran dalam mengerjakan Laporan Tugas Akhir.
4. Bapak Dr. Agung Purniawan S.T, M.Eng., selaku Ketua Departemen Teknik Material FTI-ITS.
5. Bapak Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing 1 Tugas Akhir yang telah membimbing, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
6. Bapak Ir. Rochman Rochiem M.Sc selaku dosen pembimbing 2 Tugas Akhir yang telah membimbing, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
7. Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Material FTI ITS.
8. Bapak Dr. Sungging Pintowantoro, S.T., M.T. selaku dosen wali yang telah membantu penulis menjalani pendidikan di Departemen Teknik Material FTI-ITS.
9. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material FTI-ITS yang membantu kelancaran Tugas Akhir penulis baik secara langsung maupun tidak langsung.
10. Bapak Agus Setya Wahyudi, Bapak Ngadiono dan Bapak Yugo, selaku pembimbing di Pabrik Gula Gending yang

telah membimbing dan memberikan banyak ilmu selama pengerjaan Tugas Akhir ini.

11. Bapak Tari dan Bapak Chanan selaku laboran di Laboratorium Manufaktur dan Laboratorium Metalurgi yang membantu kelancaran penggunaan peralatan pendukung Tugas Akhir penulis.
12. Para punggawa Tim ANVILL (Anky, Yohannes, Zaid dan Noval) yang memberikan banyak pengalaman, pembelajaran dan motivasi kepada penulis untuk senantiasa berprestasi.
13. Kawan-kawan TFC yang menjadi salah satu sumber kebahagiaan penulis selama berkuliah di Departemen Teknik Material ITS.
14. Teman-teman *Metal Civillians* (Noval, Adhe, Ivan, Madeline, Anto, Naufal, Ajeng) yang selalu berbagi motivasi dan bantuan selama pengerjaan Tugas Akhir.
15. Rekan-rekan Grader Laboratorium Metalurgi yang turut membentuk iklim belajar untuk perkembangan penulis.
16. Mas Andika, Mas Redy, Mas Argya, Mas Odi, Mbak Asia, dan Mbak Ninur yang telah berbagi pengetahuan tentang pengerjaan Tugas Akhir.
17. Keluarga MT17 dan seluruh mahasiswa Teknik Material ITS yang penulis sayangi, yang telah menemani dan memberikan banyak pengalaman berharga selama jenjang perkuliahan.
18. Kawan-kawan “Suwun Saleho” (Adji, Andrew, Anders, Adri, Qobus, Henry, Dipra, Gilang, Ifan, Putu, Ryan) yang menemani dan menghibur penulis di waktu suntuk.
19. JMMI ITS, LDJ Ash Haabul Kahfi, BEM ITS, BEM FTI, NACE SC ITS dan HMMT yang telah memberikan wadah bagi penulis untuk mengembangkan diri.
20. Seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terimakasih atas dukungan dan bantuan yang telah diberikan.

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Surabaya pada 14 Oktober 1996 sebagai anak pertama dari tiga bersaudara. Riwayat pendidikan penulis adalah TK Al Falah Surabaya, SD Al Falah Surabaya, SMP Negeri 1 Surabaya, SMA Negeri 15 Surabaya dan sedang menempuh pendidikan S-1 di Departemen Teknik Material Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama berkuliah, penulis mengikuti berbagai kegiatan dan organisasi. Penulis pernah mengikuti Program Studi Islam, Latihan Kepemimpinan dan Manajerial Mahasiswa Tingkat Dasar, serta Latihan Kepemimpinan Mahasiswa Wirausaha Tingkat Dasar. Penulis pernah menjuarai *Chula International Innovation Challenge for Community* 2018 di Thailand. Penulis pernah menjabat sebagai Kepala Departemen Syiar di Lembaga Dakwah Ash Haabul Kahfi Departemen Teknik Material ITS periode 2017/2018. Penulis juga merupakan seorang Grader di Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Material ITS periode 2017-2018.

Penulis memiliki pengalaman kerja praktik di PTPN XI Pabrik Gula Gending di Divisi Penggilingan pada Juni – Juli 2018. Selama kerja praktek, penulis mendalami topik terkait “Analisis Kegagalan Pinion Z 15 Gilingan pada Mesin Uap I di Pabrik Gula Gending Probolinggo”.

Tugas akhir penulis adalah dalam bidang Metalurgi Manufaktur dengan judul “Analisis Pengaruh Temperatur dan Waktu Tahan *Tempering* terhadap Kekerasan Baja ASSAB 705 yang Di-*Hardening* untuk Aplikasi Poros Pompa *Multistage*”.

Email : muhamadjundaazizi@gmail.com

No HP : 085812595700

(Halaman ini sengaja dikosongkan)